

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ

Αξιολόγηση εναλλακτικών πολιτικών σύνθεσης στόλου σκαφών Ακτοφυλακής

Διπλωματική Εργασία

Κωνσταντίνα Γεωργίου Τερζάκη - Παπαδοπούλου

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Σταμπουλής

ΒΟΛΟΣ 2017

-Υπεύθυνη Δήλωση πρωτοτυπίας διπλωματικής εργασίας

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στη διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών στην Εφαρμοσμένη Οικονομική του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος, Ιούνιος 2017.

Πίνακας περιεχομένων

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	5
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
Περίληψη	7
Abstract	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Σκοπός της μελέτης	9
1.2 Κίνητρο της μελέτης	10
1.3 Σημασία της μελέτης	10
1.4 Δομή της Μελέτης	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	13
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	13
2.1 Προσέγγιση	13
2.2 Η έννοια του Συστήματος	14
2.2.1 Συστατικά μέρη των συστημάτων	15
2.2.2 Μοντέλα Συστημάτων	16
2.2.3. Μοντέλα προσομοίωσης	17
2.2.4. Η διαδικασία μελέτης προσομοίωσης	19
2.2.5. Μέθοδοι προσομοίωσης	22
2.2.6. Λογισμικό Προσομοίωσης	24
2.2 Η Ανάγκη για αξιοπιστία, συντήρηση και διαθεσιμότητα σε στόλο σκαφών ακτοφυλακής	26
2.2.1 Αξιοπιστία τεχνολογικών συστημάτων	26
2.2.2. Μέτρηση Αξιοπιστίας	27
2.2.3. Η Μηχανική της συντήρησης	27
Η μηχανική της συντήρησης είναι από τα πιο βασικά στοιχεία της αριστοποίησης της αξιοπιστίας και της βέλτιστης απόδοσης των εγκαταστάσεων και υποδομών. Αυτές οι δράσεις είναι υπεύθυνες για:	28
2.2.4 Η έννοια της διαθεσιμότητας	28
2.3 Ανασκόπηση της Γενικής Θεωρίας Πολύπλοκων Συστημάτων	29
2.3.1. Η Μηχανιστική προσέγγιση	29
2.3.2. Η Ολιστική ή Συστημική Προσέγγιση	30

2.3.3. Η Συστημική Σκέψη	30
2.4 Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost Analysis: LCCA)	31
2.5 Συστημική Δυναμική	32
2.4.1. Γραφική Αναπαράσταση	34
2.4.2. Λογισμικό Προσομοίωσης Συστημάτων Συστημικής Δυναμικής	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	37
Μελέτη περίπτωσης – Μεθοδολογία - Μοντελοποίηση	37
3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	37
3.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΣΚΑΦΩΝ	38
3.1.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	40
3.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	43
3.2.1. Ορισμός της έννοιας των Περιπολιών	44
3.2.2. Ορισμός της έννοιας των Περιστατικών	45
3.3 Δημιουργία μοντέλου Η/Υ	46
3.3.1. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟΛΟΥ ΣΚΑΦΩΝ	46
3.3.2. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	47
3.3.3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	50
3.3.4. ΔΙΕΠΑΦΗ ΧΡΗΣΤΗ.....	54
3.3.5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΡΧΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΦΥΛΛΑ (EXCEL).....	56
Κεφάλαιο 4.....	58
Αποτελέσματα - Ανάλυση	58
4.1 Πραγματοποίηση δοκιμών – Επικύρωση του Μοντέλου	58
4.2 Σχεδιασμός Πειραμάτων	60
4.3 Εκτέλεση προσομοίωσης – Ανάλυση εξόδου	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	76
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	81

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1	Διάγραμμα ροής διαδικασίας μελέτης προσομοίωσης	Σελ. 19
Σχήμα 2	Παράδειγμα Διαγράμματος συσσώρευσης και ροής ανθρώπινου πληθυσμού	Σελ. 34
Σχήμα 3	Παράδειγμα Βρόχου ανάδρασης και εξισορροπητικού βρόχου	Σελ. 35
Σχήμα 4	Stock and Flow diagram: Στόλος σκαφών	Σελ. 46
Σχήμα 5	Stock and Flow diagram: Επιχειρησιακή λειτουργία	Σελ. 48
Σχήμα 6	Stock and Flow diagram: Κόστος	Σελ. 50
Σχήμα 7	Διεπαφή χρήστη	Σελ. 54
Σχήμα 8	Εισαγωγή δεδομένων – εξαγωγή αποτελεσμάτων σε φύλλα Excel	Σελ. 56
Σχήμα 9	Πρώτη Δοκιμή Μοντέλου	Σελ. 58
Σχήμα 10	Δεύτερη Δοκιμή Μοντέλου	Σελ. 59
Σχήμα 11	Τρίτη Δοκιμή Μοντέλου	Σελ. 60
Σχήμα 12	Μέση Διαθεσιμότητα	Σελ. 65
Σχήμα 13	Τυπική Απόκλιση μέσης διαθεσιμότητας ανά πολιτική	Σελ. 66
Σχήμα 14	Διάγραμμα Συνολικού κόστους ανά πολιτική	Σελ. 68
Σχήμα 15	Τυπική Απόκλιση συνολικού κόστους κάθε πολιτικής σε σχέση με τα σενάρια	Σελ. 69
Σχήμα 16	Μέσος συντελεστής απόδοσης πολιτικών για κάθε σενάριο	Σελ. 71
Σχήμα 17	Τυπική Απόκλιση συντελεστή απόδοσης πολιτικών σε σχέση με το σενάριο	Σελ. 72
Σχήμα 18	Τυπική Απόκλιση Συνολικού κόστους με αυξομείωση στα αρχικά κόστη κατά 10%	Σελ. 74
Σχήμα 19	Τυπική Απόκλιση Συντελεστή Απόδοσης με αυξομείωση στα αρχικά κόστη κατά 10%	Σελ. 74
Σχήμα 20	Τυπική Απόκλιση Συντελεστή Απόδοσης με αύξηση των ωρών για την εργοστασιακή και προγραμματισμένη συντήρηση κατά 10% και 20%	Σελ. 75

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	Κατηγορίες σχεδιασμού σκαφών	Σελ. 38-39
Πίνακας 2	Χαρακτηριστικά σκαφών	Σελ. 61
Πίνακας 3	Σενάρια προσομοίωσης	Σελ. 62
Πίνακας 4	Κριτήρια επιλογής συνδυασμού	Σελ. 63
Πίνακας 5	Πολιτικές σύνθεσης στόλου	Σελ. 63
Πίνακας 6	Μέσο σενάριο εξέτασης διακύμανσης τιμών	Σελ. 73

Περίληψη

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ενός εργαλείου υποστήριξης λήψης αποφάσεων που αναλύει την διαθεσιμότητα σε σχέση με το ολικό κόστος για ένα στόλο σκαφών Ακτοφυλακής, με κύριες παραμέτρους την σύνθεση του στόλου, την συντήρηση, τις πολιτικές περιπολιών και τις καιρικές συνθήκες.

Συγκεκριμένα, με χρήση μεθόδων Συστημικής Δυναμικής, εξετάζονται πολιτικές σύνθεσης στόλου σκαφών Ακτοφυλακής ως προς την διαθεσιμότητα και το κόστος όταν οι καιρικές συνθήκες, οι ώρες περιπολίας και ο αριθμός έκτακτων περιστατικών μεταβάλλονται. Τα σκάφη που εξετάζονται, κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις τύπους ανάλογα με τις επιχειρησιακές τους δυνατότητες, τα χαρακτηριστικά τους και τα κόστη αγοράς, συντήρησης, στελέχωσης και λειτουργίας τους. Οι εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν το μοντέλο είναι οι καιρικές συνθήκες, οι ώρες περιπολίας, τα έκτακτα περιστατικά, οι πολιτικές συντήρησης και οι αυξομειώσεις των τιμών της αγοράς. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται και αναλύονται αφορούν την ποσοστιαία διαθεσιμότητα, το ολικό κόστος και την απόδοση των διάφορων πολιτικών σε χρονικό ορίζοντα δέκα ετών.

Τέλος, το μοντέλο εφαρμόζεται για έναν στόλο συνολικά δέκα σκαφών Ακτοφυλακής. Αφού τεθούν τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων τύπων σκαφών που θα συνθέσουν τον στόλο, εξετάζονται όλες οι πιθανές πολιτικές σύνθεσης στα διάφορα σενάρια εξωτερικών παραγόντων και σύμφωνα με την ανάλυση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από το μοντέλο, η μελέτη καταλήγει στην εύρεση της σύνθεσης εκείνης που αποδίδει την μέγιστη δυνατή διαθεσιμότητα με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Λέξεις κλειδιά: Συστημική Δυναμική, Προσομοίωση, Μοντελοποίηση, Ακτοφυλακή, Στόλος σκαφών, συντήρηση, ανάλυση κόστους κύκλου ζωής

Abstract

The aim of this thesis is to create a decision support tool that analysis availability in addition to the overall cost on a Coast Guard's fleet, based on fleet composition decisions, maintenance, patrol policies and weather conditions.

In particular, using System Dynamics methods, Coast Guard's fleet composition policies are testing for the availability and costs when weather conditions, patrol hours and emergencies are changing. The vessels under consideration are categorized into four types depending on their operational capabilities, characteristics as well as the purchase, maintenance, staffing and operation costs. The external factors that affect the model are weather conditions, patrol hours, emergencies, maintenance policies and market price fluctuations. The results obtained and analyzed relate to the availability percentage, overall cost and performance of the various policies over a ten year horizon.

Finally, the model applies to a fleet of a total of ten Coast Guard vessels. Given the characteristics of the four types of vessels that will compose the fleet, all the possible synthesis polices are examined through the various external factors and according to the analysis of the results obtained by the model, the study concludes in finding the one composition that returns maximum availability at the lowest possible overall cost.

Key words: System Dynamics, Simulation, Modeling, Coast Guard, boat fleet, maintenance, life cycle cost analysis

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός της μελέτης

Μία κοινώς αποδεκτή παραδοχή είναι ότι εάν δεν συντηρήσεις κάτι, τότε αυτό θα χαλάσει. Είτε το αντικείμενο αυτό είναι ένα σπίτι, ένα ποδήλατο, ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ή ένα σκάφος, εάν δεν συντηρηθεί σωστά τότε η λειτουργικότητα του θα υποβαθμιστεί ή ακόμη χειρότερα αυτό θα καταστραφεί εντελώς. Ωστόσο, όσο η διαδικασία της συντήρησης περιπλέκεται, η σχέση μεταξύ συντήρησης και αξιοπιστίας γίνεται πολυπλοκότερη και δυσκολότερη να ποσοτικοποιηθεί. Επίσης, όσο περισσότερο λειτουργεί ένα μέσο, τόσο συχνότερη συντήρηση χρειάζεται.

Ένα σκάφος ακτοφυλακής πρέπει να είναι πάντα σε ετοιμότητα να επιχειρήσει, δηλαδή να είναι άμεσα ικανό να αντιμετωπίσει οποιοδήποτε έκτακτο περιστατικό. Έχοντας υπόψη αυτή την απαίτηση η Ελληνική Ακτοφυλακή, και κατά συνέπεια η Ελληνική Κυβέρνηση, δαπανά μεγάλα χρηματικά ποσά. Το ερώτημα όμως που γεννάται είναι το κατά πόσο αποτελεσματική είναι αυτή η δαπάνη για την επιχειρησιακή ετοιμότητα. Υπάρχει τρόπος να προσδιοριστεί με μετρήσιμα μεγέθη το κόστος σε σχέση με την απόδοση; Αυτό το βασικό ερώτημα τίθεται να απαντήσει η παρούσα μελέτη. Όπως θα αναπτυχθεί παρακάτω, με χρήση αρχών της οικονομικής θεωρίας αλλά και της επιχειρησιακής έρευνας και διοίκησης, γίνεται η προσπάθεια διαμόρφωσης ενός λειτουργικού εργαλείου υποστήριξης λήψης απόφασης.

Ως σκοπός λοιπόν της μελέτης είναι η απάντηση του κάτωθι ερωτήματος:

Ποια είναι η καλύτερη σύνθεση σκαφών ακτοφυλακής ούτως ώστε να παρέχεται η μέγιστη δυνατή επιχειρησιακή ετοιμότητα με το ελάχιστο δυνατό κόστος;

Μέσα από αυτό το ερώτημα, και στα όρια της παρούσας, θα προσομοιωθούν τέσσερις διαφορετικοί τύποι σκαφών χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι το εργαλείο που θα αναπτυχθεί δεν μπορεί με τις κατάλληλες παραμετροποιήσεις να προσομοιώσει μεγαλύτερο ή λιγότερο αριθμό σκαφών. Σκοπός άλλωστε είναι η διαμόρφωση του μοντέλου έτσι ώστε αυτό να παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα σε διάφορες περιπτώσεις και όχι αναγκαστικά για τις παραμέτρους που θα τεθούν στα όρια της παρούσας μελέτης.

1.2 Κίνητρο της μελέτης

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με ιδιαίτερα μεγάλη ακτογραμμή λόγω της ιδιομορφίας της και ιδιαίτερα των πολυάριθμων νησιών της. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι παρά τη μικρή έκτασή της, κατέχει την 11^η θέση παγκοσμίως στις χώρες με τη μεγαλύτερη ακτογραμμή και αριθμεί περί τα 2.500 νησιά εκ των οποίων τα 165-227 περίπου κατοικούνται. Γίνεται σαφές λοιπόν ότι σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, σημαντικό ρόλο κατέχει η Ακτοφυλακή η οποία είναι υπεύθυνη για την αστυνόμευση και επιτήρηση των ακτογραμμών και των Εθνικών χωρικών υδάτων. Η Ελληνική Ακτοφυλακή, λοιπόν, καλείτε να διασφαλίσει την προστασία της θαλάσσιας αλιείας, την διάσωση κινδυνευόντων στη θάλασσα, την αντιμετώπιση διαφόρων έκτακτων γεγονότων που αφορούν την θαλάσσια συγκοινωνία, την ασφάλεια των εθνικών θαλάσσιων συνόρων, την προστασία του θαλασσίου περιβάλλοντος, την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα, την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και γενικά τον έλεγχο των χωρικών υδάτων της Χώρας. Ο στόλος σκαφών λοιπόν, που κατέχει το σώμα της Ελληνικής Ακτοφυλακής παίζει σημαντικό ρόλο στην διασφάλιση όλων των προεκτεθέντων. Ως εκ τούτου, γίνεται σαφές ότι τα σκάφη του Λιμενικού Σώματος επιτελούν σημαντικό έργο και γι αυτό το λόγο χρήζουν αμέριστης προσοχής ως προς την διασφάλιση της επιχειρησιακής τους ετοιμότητας. Η αγορά των κατάλληλων σκαφών αλλά και η σωστή συντήρησή τους, αποτελεί σημαντικό προβληματισμό στην εκάστοτε ηγεσία ειδικά όταν το κόστος είναι μεγάλο. Ως Αξιωματικός του Λιμενικού Σώματος, υπηρετών σε νησιωτική περιοχή, μπορώ να διακρίνω την σημασία της σωστής συντήρησης των σκαφών που απαρτίζουν την Εθνική Ακτοφυλακή. Ωστόσο, λόγω της οικονομικής ύφεσης που διατρέχει η Χώρα μας τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί ότι το κόστος είναι αποτρεπτικό ως προς την σωστή συντήρηση των σκαφών και κατά συνέπεια η υποβάθμιση του στόλου να είναι αναπόφευκτη. Μέσω της μελέτης που θα παρουσιασθεί παρακάτω και με την βοήθεια εργαλείων προσομοίωσης, γίνεται μια προσπάθεια στην ανάπτυξη ενός εργαλείου που θα βοηθήσει στην λήψη αποφάσεων όσον αφορά την αγορά και συντήρηση σκαφών ακτοφυλακής ούτως ώστε να διασφαλίζεται η το δυνατόν καλύτερη επιχειρησιακή ετοιμότητα του στόλου με το χαμηλότερο δυνατόν κόστος.

1.3 Σημασία της μελέτης

Όπως ειπώθηκε ανωτέρω, ο στόλος σκαφών ακτοφυλακής είναι υψίστης σημασίας για την Ελλάδα αλλά και κατ' επέκταση για όλες τις χώρες που έχουν ακτογραμμή μεγάλης

εκτάσεως. Αυτή τη στιγμή ο στόλος σκαφών της Ελληνικής Ακτοφυλακής απαρτίζεται από περίπου 80 σκάφη. Τα σκάφη, όπως και κάθε άλλο πλωτό, χερσαίο ή εναέριο μέσο, απαρτίζονται από διάφορα ηλεκτρομηχανολογικά μέρη τα οποία υπόκεινται σε φθορές με το πέρασ του χρόνου. Αυτό έχει ως συνέπεια την μείωση της απόδοσής τους ακόμη και την ολική καταστροφή τους. Επιβαρυντικός παράγοντας επίσης, είναι οι ακραίες συνθήκες που τα σκάφη επιχειρούν, πολλές φορές σε κακοκαιρία, με ακραίους και επιβαρυντικούς χειρισμούς για τις μηχανές σε περιστατικά όπως διασώσεις ή καταδιώξεις.

Το κόστος αγοράς και συντήρησης ενός μεγάλου στόλου σκαφών είναι επίσης πολύ υψηλό. Η αγορά ενός σκάφους κοστίζει εκατομμύρια ευρώ, γι' αυτό όταν η ηγεσία κρίνει ότι χρειάζεται να προβεί στην απόκτηση ενός σκάφους πρέπει να λάβει υπόψη παράγοντες όπως οι δυνατότητές του με την κατά προορισμό χρήση του, ο υπάρχων στόλος σκαφών, οι καταναλώσεις του σε καύσιμα, το πλήρωμα με το οποίο πρέπει να στελεχωθεί και το κόστος της συντήρησής του. Καθότι λοιπόν η αγορά ενός ή περισσότερων σκαφών είναι μια πολύπλοκη απόφαση η οποία ενέχει μεγάλο κόστος και θα πρέπει να λαμβάνεται με ιδιαίτερη προσοχή, κρίνεται απαραίτητη η μοντελοποίηση και προσομοίωση του συστήματος ούτως ώστε να λειτουργεί συμβουλευτικά και να παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα τα οποία θα συμβάλλουν στην τελική απόφαση.

Με την παρούσα μελέτη γίνεται μια προσπάθεια ανάπτυξης ενός αξιόπιστου εργαλείου υποστήριξης λήψης απόφασης, με χρήση μεθόδων επιχειρησιακής έρευνας, το οποίο θα είναι ικανό να διαγνώσει τις μακροχρόνιες θετικές και αρνητικές επιπτώσεις αγοράς ενός στόλου σκαφών. Με αυτό τον τρόπο η εκάστοτε ηγεσία μπορεί να κρίνει τον συνδυασμό των σκαφών που πρέπει να αγοράσει ούτως ώστε να διασφαλίσει την μακροχρόνια ευημερία του στόλου της. Ως εκ τούτου γίνεται σαφές ότι η διαμόρφωση εργαλείων πρόβλεψης και ανάλυσης στρατηγικών συντήρησης στόλου σκαφών ακτοφυλακής είναι μείζονος σημασίας για την εκάστοτε ηγεσία, καθότι μπορούν να αποφευχθούν λανθάνουσες αποφάσεις οι οποίες μπορεί να ενέχουν μεγάλο χρηματικό αλλά και πολιτικό κόστος.

1.4 Δομή της Μελέτης

Το ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 παρέχει την βιβλιογραφική ανασκόπηση και τις θεωρητικές βάσεις, στις οποίες επρόκειτο να αναπτυχθεί το μοντέλο. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εισαγωγή στη θεωρία των συστημάτων και της προσομοίωσης και αναλύονται όροι όπως αξιοπιστία, συντήρηση και κόστος κύκλου ζωής. Τομείς όπως η αξιοπιστία τεχνολογικών συστημάτων, η διοίκηση συντήρησης, η ανασκόπηση της Γενικής θεωρίας συστημάτων, η μέθοδος ανάλυσης Κύκλου

Ζωής καθώς και η Συστημική Δυναμική, στην οποία και τελικά στηρίζεται η ανάπτυξη της μεθόδου, επίσης αναφέρονται.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 αναπτύσσεται το εννοιολογικό μοντέλο, γίνεται η συλλογή των δεδομένων και τελικά αναπτύσσεται το τυπικό μοντέλο το οποίο θα βοηθήσει στην δημιουργία του περιβάλλοντος προγραμματισμού. Προσδιορίζεται ο στόλος σκαφών, οι ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες που επηρεάζουν την διαθεσιμότητα και το κόστος καθώς και καθορίζονται οι βασικοί παράμετροι που θα επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά το μοντέλο προσομοίωσης. Οι βασικοί παράμετροι και πως αυτοί προσδιορίζονται, οι μεταβλητές, οι συναρτήσεις και η σύνδεση μεταξύ τους. Ανάλυση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος και πως αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν απλό χρήστη.

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4, γίνεται ο σχεδιασμός των πειραμάτων δηλαδή οι πολιτικές και τα σενάρια τα οποία θα αναλυθούν για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του μοντέλου. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται σύμφωνα με τα σενάρια και τις πολιτικές που έχουν τεθεί προς εξέταση.

Στο τελευταίο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 θα απαντηθεί το βασικό ερώτημα που τέθηκε ως σκοπός της μελέτης. Τα αποτελέσματα, τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και εφαρμογή, επίσης αναφέρονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.

Στο τέλος της μελέτης, παρατίθεται το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ, το οποίο περιέχει όλες της μεταβλητές του προγράμματος, τις μονάδες μέτρησης και τις εξισώσεις, όπως αυτές αναπτύχθηκαν στο μοντέλο προσομοίωσης.

Τέλος, ο αναγνώστης πρέπει να γνωρίζει ότι οι θέσεις που πραγματεύεται η παρούσα σε σχέση με τον στόλο σκαφών και γενικά την λειτουργία της Ακτοφυλακής, προέρχονται από τον συγγραφέα και δεν αναπτύσσονται πολιτικές που ακολουθούνται από το Λιμενικό Σώμα Ελληνικής Ακτοφυλακής. Άλλωστε το εργαλείο που αναπτύσσεται αναφέρεται γενικά για έναν στόλο σκαφών Ακτοφυλακής και όχι αναγκαστικά για τον Ελληνικό. Επίσης οι τιμές των μεταβλητών είναι προσεγγιστικές και βασίζονται σε δημόσια διαθέσιμα στοιχεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Προσέγγιση

Πολλές μελέτες έχουν γίνει με σκοπό την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων όπως η περίπτωση που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η προσέγγιση του Jacoby C. (2015) ο οποίος μελετά τις κρίσιμες λειτουργίες και πολιτικές συντήρησης του Αμερικανικού στόλου Ακτοφυλακής. Ο Jacoby στην προσέγγιση του, θεώρησε το υπό μελέτη πρόβλημα ως σύστημα και ανέπτυξε ένα μοντέλο προσομοίωσης στηριζόμενο στις αρχές της Συστημικής Δυναμικής. Μελετώντας τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις εφαρμογής διάφορων πολιτικών συντήρησης, κατέληξε στην πολιτική εκείνη που παρείχε μεγαλύτερη αξιοπιστία σε σχέση με το κόστος.

Αντίστοιχα, ο Karadimas G. (2010) ανέλυσε την αξιοπιστία σε πλοία μεταφοράς εμπορευματικιβωτίων βάση της συχνότητας των βλαβών που αυτά παρουσιάζουν. Προσεγγίζοντας την μελέτη σύμφωνα με τις αρχές της Αξιοπιστίας και Διαθεσιμότητας, ανέλυσε πραγματικές στατιστικές τιμές έτσι ώστε να καταλήξει σε πολιτικές συντήρησης οι οποίες αυξάνουν την αξιοπιστία του συστήματος.

Επίσης, ο Frost (1989) θέλησε να εξετάσει τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας των μέσων που χρησιμοποιεί η Αμερικανική Ακτοφυλακή. Συγκεκριμένα, συνέκρινε πραγματικά κόστη, κόστη τα οποία έχουν προβλεφθεί με τη χρήση μοντέλων προϋπολογισμού και κόστη που έχουν προβλεφθεί με χρήση μοντελοποίησης και κατέληξε ότι η παραμετροποίηση και μοντελοποίηση τέτοιων συστημάτων είναι η καλύτερη μέθοδος πρόβλεψης κόστους.

Αντίστοιχες μελέτες έχουν γίνει και για την περίπτωση στόλου αεροσκαφών πολεμικής αεροπορίας. Όπως αυτή των Adamides, Stamboulis και Varelis (2004), όπου χρησιμοποιώντας μοντέλα συστημικής δυναμικής, ανέπτυξαν ένα μοντέλο προσομοίωσης πολιτικών συντήρησης στόλου αεροσκαφών της Πολεμικής Αεροπορίας. Σκοπός ήταν η εύρεση της πολιτικής εκείνης που θα παρείχε την μεγαλύτερη αξιοπιστία σε συνάρτηση με το κόστος.

Γενικότερα, οι περισσότεροι μελετητές καταλήγουν πως πολύπλοκα προβλήματα όπως αυτά που εξετάζει η παρούσα εργασία, παράγουν καλύτερα αποτελέσματα όταν αυτά προσεγγίζονται με τη μεθοδολογία των συστημάτων. Συνεπώς, στις επόμενες παραγράφους

θα γίνει εισαγωγή στην έννοια των συστημάτων και της μοντελοποίησης και στη συνέχεια θα γίνει ανασκόπηση ειδικά στον τομέα της συντήρησης και της αξιοπιστίας.

2.2 Η έννοια του Συστήματος

Σκοπός της προσομοίωσης είναι η μελέτη συστημάτων μέσω των μοντέλων τους. Οι όροι «σύστημα» και «μοντέλο» είναι θεμελιώδεις έννοιες για την προσομοίωση και ο σαφής ορισμός τους είναι προϋπόθεση για την κατανόηση μίας μελέτης προσομοίωσης τόσο από την πλευρά των αναλυτών όσο και από αυτή των τελικών χρηστών. Παρακάτω περιγράφεται η έννοια του συστήματος και τα συστατικά του στοιχεία καθώς και τα μοντέλα που επιτρέπουν τη μελέτη πραγματικών συστημάτων. Η σωστή απεικόνιση των συστημάτων μέσω των μοντέλων είναι πολύ σημαντική για την αξιολόγηση της προσομοίωσης ως ένα ολοκληρωμένο εργαλείο ανάλυσης. [Panas A. , 2005]

Ως σύστημα ορίζεται ένα σύνολο από αλληλεπιδρόντα στοιχεία τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους ή λειτουργούν συλλογικά για την επίτευξη κάποιου σκοπού. Τα συστήματα αποτελούν αναπαραστάσεις της πραγματικότητας και χρησιμοποιούνται για την κατανόηση και τη μελέτη πραγματικών καταστάσεων. Η μελέτη των συστημάτων γίνεται τόσο κατά την ανάλυση υπαρχόντων διατάξεων όσο και κατά το σχεδιασμό νέων. Κάθε σύστημα επηρεάζεται από αλλαγές που γίνονται έξω από αυτό. Αυτές οι αλλαγές ή αλλιώς εξωτερικές επιδράσεις συμβαίνουν στο περιβάλλον του συστήματος. Συνεπώς, για τη μελέτη ενός συστήματος είναι απαραίτητος ο καθορισμός των ορίων του συστήματος. Κατά την ανάλυση ενός συστήματος μελετάται η έξοδος του συστήματος όταν έχει καθοριστεί η είσοδος σε αυτό, ενώ κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος μελετώνται τα χαρακτηριστικά του συστήματος με δεδομένες τις εισόδους και τις αντίστοιχες εξόδους από αυτό. Ένας πιο αναλυτικός ορισμός του συστήματος είναι ο παρακάτω:

«Σύστημα είναι ένα τμήμα της πραγματικότητας που αποτελεί το κυρίως σημείο μίας μελέτης και αποτελείται από συστατικά που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σύμφωνα με ορισμένους κανόνες, βρίσκεται δε μέσα σε κάποια όρια που αναγνωρίζονται από το σκοπό της μελέτης. Ένα σύστημα μπορεί να κάνει μία λειτουργία που δεν μπορεί να την κάνει κάθε συστατικό του συστήματος μόνο του.» [Khoshnevis, 1994]

Τα συστήματα ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, στατικά και δυναμικά. Στα στατικά συστήματα η κατάσταση του συστήματος παραμένει σταθερή με το χρόνο ενώ στα δυναμικά συστήματα η κατάσταση μεταβάλλεται χρονικά. Η μεταβολή μπορεί να είναι μεταβατική ή σταθερή. Ένα δυναμικό σύστημα βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση όταν οι αλλαγές στην

κατάστασή του μέσα στο χρόνο συμβαίνουν σ' ένα σχετικά σταθερό εύρος. Αντίθετα, η κατάσταση ενός συστήματος μπορεί να υποστεί μεταβατικές αλλαγές, όταν το σύστημα βρίσκεται σε μία μη τυπική κατάσταση. Γενικά, οι μεταβατικές καταστάσεις είναι χαρακτηριστικό των συνθηκών εκκίνησης ή τέλους ή συνθηκών που επιβάλλουν ριζοσπαστικές μεταβολές στο σύστημα.

Τα δυναμικά συστήματα, με τη σειρά τους, κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε συνεχή, διακριτά και μικτά. Αν οι μεταβλητές του συστήματος αλλάζουν με χρονικά ασυνεχή τρόπο, το σύστημα ονομάζεται διακριτό. Επειδή όμως στην πραγματικότητα κανένα σύστημα δεν είναι αμιγώς συνεχές ή αμιγώς διακριτό, ορίζεται ένας τρίτος τύπος δυναμικών συστημάτων, τα μικτά συστήματα. Στα μικτά συστήματα ορισμένες από τις μεταβλητές του συστήματος μεταβάλλονται συνεχώς και άλλες διακριτά. Για λόγους πρακτικότητας και διευκόλυνσης της μελέτης των συστημάτων θεωρείται ότι ένα από τα δύο είδη αλλαγών (συνεχείς ή διακριτές) υπερέχει του άλλου και τα συστήματα κατατάσσονται ανάλογα [Law, 2007]. Γενικά, ο ορισμός του συστήματος και των ορίων του καθώς και η επιλογή της θεώρησής του ως στατικό/δυναμικό, συνεχές, διακριτό ή μικτό εξαρτάται από τον τρόπο μελέτης του συστήματος. Μόλις καθοριστεί ο σκοπός του συστήματος, επιλέγεται προσεκτικά το σύνολο των μεταβλητών που θα αναπαραστήσουν την κατάστασή του και στη συνέχεια γίνεται η ορθή ταξινόμησή του.

2.2.1 Συστατικά μέρη των συστημάτων

Η κατασκευαστική διαδικασία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι αλληλεπιδρούν και μεταβάλλονται με το χρόνο. Συνεπώς, όσον αφορά στις κατασκευές ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα δυναμικά συστήματα. Σε αυτά τα συστήματα υπάρχει πάντα κίνηση κάποιου πόρου ή μέσου παραγωγής από ένα (υπο)σύστημα σε ένα άλλο ή και μέσα σε αυτό. Στα συνεχή συστήματα η κίνηση αυτή λέγεται ροή ενώ στα διακριτά λέγεται μετακίνηση. Ορισμένα μέρη του συστήματος λειτουργούν σαν αποθήκες αυτών των πόρων κατά τη διάρκεια της κίνησής τους. Οι συγκεντρωμένες ποσότητες στα συνεχή συστήματα ονομάζονται επίπεδα και στα διακριτά ουρές (queues). Περαιτέρω, στα διακριτά συστήματα (που είναι ο συνήθης τύπος δυναμικών συστημάτων που χρησιμοποιείται για τη μελέτη κατασκευαστικών διαδικασιών) η κίνηση των αγαθών γίνεται μεταξύ των οντοτήτων (entity) του συστήματος, δηλ. των αντικειμένων του συστήματος που ενδιαφέρουν τον μελετητή. Μία οντότητα μπορεί να είναι δυναμική, δηλ. να «μετακινείται» μέσα στο σύστημα ή στατική, δηλαδή να εξυπηρετεί άλλες οντότητες. Κάθε οντότητα έχει κάποια ιδιοχαρακτηριστικά (attributes) που αποτελούν ιδιότητες της οντότητας. Το σύνολο των οντοτήτων ενός

συστήματος σε μία μελέτη μπορεί να είναι ένα υποσύνολο για ένα άλλο σύστημα σε μία άλλη μελέτη [Law, 2007]. Οι τιμές των ιδιοχαρακτηριστικών προσδιορίζουν μοναδικά την κάθε οντότητα.

Από την σκοπιά των μεταβλητών κατάστασης του συστήματος, τα ιδιοχαρακτηριστικά θεωρούνται τοπική πληροφορία αφού συνδέονται με την οντότητα ενώ ορισμένες άλλες πληροφορίες όπως ο χρόνος θεωρούνται καθολικές μεταβλητές και είναι παρατηρήσιμες από οποιοδήποτε σημείο του συστήματος. Τυπικές καθολικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε μελέτες διακριτών συστημάτων εκτός από τον χρόνο, είναι ο μετρητής των οντοτήτων (το συνολικό πλήθος οντοτήτων ενός συγκεκριμένου τύπου που υπάρχουν σε μία καθορισμένη στιγμή στο σύστημα), το συνολικό πλήθος των οντοτήτων σε συγκεκριμένα τμήματα του συστήματος (σε κάθε ουρά ή σε πολλές ουρές, δραστηριότητες και συνδεδεμένες διαδρομές) και η κατάσταση των διαφόρων πόρων ή μέσων παραγωγής (πλήθος που χρησιμοποιείται, διαθέσιμος αριθμός) [Law, 2007]. Οι πόροι ή μέσα παραγωγής (resources) του συστήματος είναι περιορισμένα αγαθά που χρησιμοποιούνται, καταναλώνονται ή αναπληρώνονται από τις οντότητες. Κάθε οντότητα δεσμεύει έναν ή περισσότερους πόρους και ο συνδυασμός τους παρέχει κάποιες υπηρεσίες στο σύστημα (π.χ. εξυπηρετεί κάποια άλλη οντότητα).

Στα διακριτά συστήματα οι αλλαγές γίνονται μέσω των δραστηριοτήτων, οι οποίες και έχουν συγκεκριμένη διάρκεια. Οι δραστηριότητες είτε υλοποιούνται μέσα στο σύστημα (ενδογενείς) είτε στο περιβάλλον του και το επηρεάζουν εξωτερικά (εξωγενείς) [Banks et al., 2005]. Επίσης, αν το αποτέλεσμα μίας δραστηριότητας μπορεί να περιγραφεί πλήρως από τις εισόδους, τότε η δραστηριότητα αυτή ονομάζεται προσδιορισμένη (deterministic). Εάν αντίθετα για ένα δεδομένο σύνολο εισόδων υπάρχουν πολλαπλά σύνολα εξόδων και αυτό που θα συμβεί κάθε φορά είναι αποτέλεσμα τυχαίων παραγόντων, τότε οι δραστηριότητες ονομάζονται στοχαστικές (stochastic). Οι δραστηριότητες καταναλώνουν πόρους και δημιουργούν συμβάντα που αλλάζουν την κατάσταση του συστήματος.

Τα παραπάνω παρέχουν μία περιεκτική περιγραφή ενός συστήματος και βοηθούν στην κατασκευή της αναπαράστασής του, δηλαδή στη δημιουργία του μοντέλου του συστήματος που αναλύεται στην επόμενη παράγραφο.

2.2.2 Μοντέλα Συστημάτων

Για να είναι δυνατή η περιγραφή ή η ανάλυση του συστήματος θα πρέπει πρώτα το σύστημα να εκφραστεί με κάποιας μορφής αναπαράσταση. Η αναπαράσταση ενός συστήματος για το σκοπό της μελέτης ονομάζεται μοντέλο [Banks et al., 2005]. Τα μοντέλα ανάλογα με τον

τρόπο μελέτης του συστήματος κατηγοριοποιούνται σε φυσικά, μαθηματικά, αναλυτικά, αριθμητικά και σε προσομοίωσης.

Τα φυσικά μοντέλα είναι μία «φυσική» αναπαράσταση του αντικειμένου που αντιπροσωπεύει και μπορεί να είναι μικρότερης, μεγαλύτερης ή ίδιας κλίμακας με το σύστημα, όπως για παράδειγμα ένα πείραμα. Τα μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούν μαθηματικές έννοιες για να περιγράψουν τις φυσικές ιδιότητες και λειτουργίες του συστήματος και αναπαρίστανται μέσω λογικών ή ποσοτικών σχέσεων οι οποίες τροποποιούνται και αλλάζουν για να βγουν συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά του συστήματος υπό διαφορετικές συνθήκες. Τα αναλυτικά μοντέλα περιγράφονται από ένα πλήρες σύνολο εξισώσεων και χρησιμοποιούνται όταν το σύστημα μπορεί να μελετηθεί με αυστηρές μαθηματικές σχέσεις. Τα αριθμητικά μοντέλα χρησιμοποιούνται σε πολύπλοκα συστήματα όταν δεν είναι δυνατή η εύρεση μαθηματικών σχέσεων που να τα περιγράφουν και συνήθως χρησιμοποιούν εμπειρικά δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο και καθορίζουν τις εξόδους του. Τέλος, τα μοντέλα προσομοίωσης είναι ένας τρόπος δημιουργίας αριθμητικών, μαθηματικών μοντέλων με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και έχουν καταστεί πρόσφορο εργαλείο μοντελοποίησης και μελέτης πολύπλοκων και σύνθετων συστημάτων.

2.2.3. Μοντέλα προσομοίωσης

Τα μοντέλα προσομοίωσης παλαιότερα μπορούσαν να αναπτυχθούν και να μελετηθούν με «πράξεις στο χέρι», όμως η πολυπλοκότητα των υπό μελέτη συστημάτων καθώς και η εξέλιξη των Η/Υ έχουν οδηγήσει στην σχεδόν αποκλειστική χρήση Η/Υ για τη μοντελοποίηση και την εκτέλεση μελετών προσομοίωσης. Ουσιαστικά, ένα μοντέλο προσομοίωσης είναι κάποιας μορφής πρόγραμμα Η/Υ που προσομοιώνει το υπό μελέτη σύστημα. Σε κάθε περίπτωση, τα μοντέλα προσομοίωσης απεικονίζουν πραγματικά συστήματα με αφαιρετικό ή απλοποιητικό τρόπο για να μειώσουν το κόστος της ανάλυσης (σε χρήματα και χρόνο) αλλά και για να επικεντρώσουν την προσοχή της μελέτης σε κρίσιμα μεγέθη του συστήματος.

Η διαδικασία της μοντελοποίησης για την προσομοίωση περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στάδια [Sanchez, 2006]. Αρχικά, καθορίζεται το εύρος του συστήματος (όρια) και στη συνέχεια δημιουργείται ένα περιγραφικό ή εννοιολογικό μοντέλο. Ακόμη, αναλύονται οι αλληλεπιδράσεις και οι συσχετίσεις των οντοτήτων του συστήματος. Η έκφραση των συσχετίσεων μπορεί να γίνει μέσω μαθηματικών σχέσεων, περιορισμών και επιδιώξεων

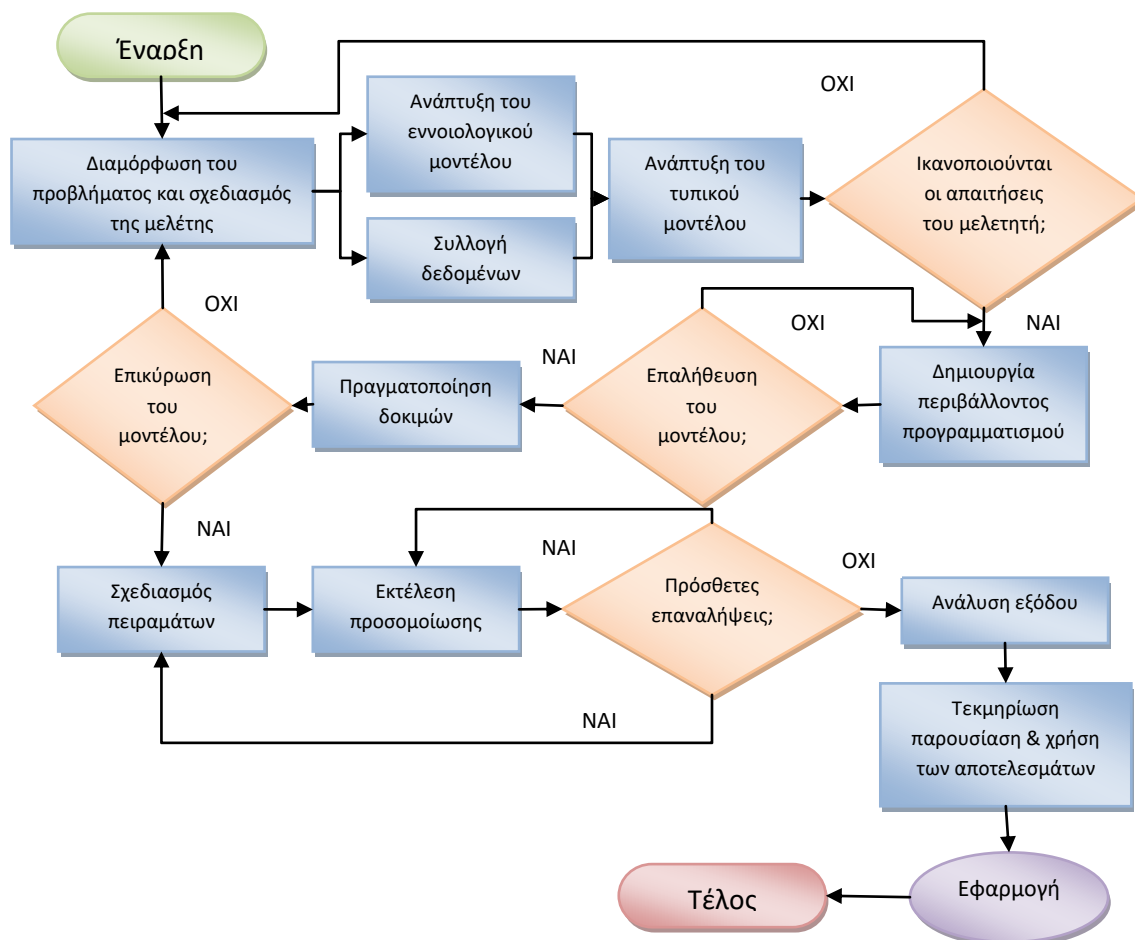
(βελτιστοποίηση), ή με στοχαστικά δεδομένα από πιθανοτικές κατανομές. Έτσι, δημιουργείται το τυπικό μοντέλο προσομοίωσης. Στο επόμενο στάδιο προσδιορίζεται ο αλγόριθμος της προσομοίωσης που θα μπορέσει να περιγράψει τη συμπεριφορά του συστήματος και ενσωματώνεται σε κάποιο πρόγραμμα H/Y. Το τέταρτο στάδιο της μοντελοποίησης αφορά στην περιγραφή του στοχαστικού (κατά πάσα πιθανότητα) μοντέλου μέσω κατάλληλων στατιστικών μεγεθών. Η σωστή και μαθηματικά ορθή δημιουργία του στατιστικού μοντέλου καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τόσο την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων όσο και την αξία της προσομοίωσης συνολικά. Τέλος, για κάθε μοντέλο εφαρμόζεται μία διαδικασία επαλήθευσης και επικύρωσης που εξασφαλίζει αφενός ότι το υπολογιστικό μοντέλο αποτελεί ορθή αναπαράσταση του τυπικού μοντέλου που δημιουργήθηκε και αφετέρου ότι το μοντέλο στο σύνολό του απεικονίζει την πραγματική συμπεριφορά του συστήματος που μελετάται.

Τα μοντέλα προσομοίωσης διακρίνονται στις εξής κατηγορίες [Law, 2007]:

1. **Στατικά:** Τα στατικά μοντέλα προσομοίωσης χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση συστημάτων η κατάσταση των οποίων είναι ανεξάρτητη από τον χρόνο.
2. **Δυναμικά:** Τα δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης περιγράφουν συστήματα που μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου.
3. **Προσδιορισμένα:** Τα μοντέλα προσομοίωσης που δεν εμπεριέχουν τυχαίες μεταβλητές ονομάζονται προσδιορισμένα. Αυτά τα μοντέλα έχουν ένα γνωστό σύνολο δεδομένων ως είσοδο και σαν αποτέλεσμα παράγουν ένα μοναδικό σύνολο εξόδων.
4. **Στοχαστικά:** Μερικά συστήματα εμπεριέχουν τουλάχιστον μία τυχαία μεταβλητή και γι' αυτό μοντελοποιούνται με στοχαστικά μοντέλα προσομοίωσης. Τα στοχαστικά μοντέλα προσομοίωσης παράγουν εξόδους που είναι τυχαίες και γι' αυτό τα αποτελέσματα που προκύπτουν πρέπει να αντιμετωπιστούν ως προσεγγίσεις του υπό μελέτη συστήματος και όχι σαν μία ακριβής αναπαράσταση της συμπεριφοράς του.
5. **Συνεχή:** Τα συνεχή μοντέλα προσομοίωσης ορίζονται όπως και τα συνεχή συστήματα. Αναφέρονται σε μοντέλα που η κατάστασή τους μεταβάλλεται με το χρόνο. Συνήθως αυτά τα μοντέλα περιγράφονται με διαφορικές εξισώσεις που αντιπροσωπεύουν τους ρυθμούς μεταβολής των μεταβλητών του μοντέλου.
6. **Διακριτά:** Όπως και τα διακριτά συστήματα έτσι και τα διακριτά μοντέλα προσομοίωσης περιγράφουν ένα σύστημα που εξελίσσεται με το χρόνο και η κατάστασή του αλλάζει σε συγκεκριμένα συμβάντα.

2.2.4. Η διαδικασία μελέτης προσομοίωσης

Η διαδικασία μίας μελέτης προσομοίωσης είναι πιο σύνθετη από την επιλογή ενός συγκεκριμένου μοντέλου και την εκτέλεση ενός προγράμματος σε Η/Υ. Το παρακάτω διάγραμμα ροής συνοψίζει τα βασικά στάδια που πρέπει να ακολουθηθούν για την εκτέλεση μιας μελέτης προσομοίωσης και το οποία είναι επέκταση της διαδικασίας μοντελοποίησης που περιγράφηκε παραπάνω. [Banks et al., 2005; Law, 2007]



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής διαδικασίας μελέτης προσομοίωσης

Σύμφωνα με το ανωτέρω διάγραμμα ροής, τα στάδια που περιλαμβάνονται στη διαδικασία μελέτης μίας προσομοίωσης είναι τα εξής:

1. Διαμόρφωση του προβλήματος και σχεδιασμός της μελέτης: Στο συγκεκριμένο στάδιο γίνονται οι απαραίτητες συζητήσεις με τους τελικούς χρήστες του συστήματος που είναι οι άμεσα ενδιαφερόμενοι για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Καθορίζονται τα ζητούμενα και οι στόχοι της μελέτης. Επίσης, σε αυτό το στάδιο αποφασίζεται εάν η προσομοίωση είναι

η κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης του προβλήματος, συμφωνούνται τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του μοντέλου καθώς και οι δείκτες αποδοτικότητας για να αξιολογηθεί η ορθότητα της προσομοίωσης. Ταυτόχρονα, γίνεται ο χρονικός προγραμματισμός του έργου και καταγράφονται οι απαιτήσεις σε μέσα παραγωγής. Τέλος, προσδιορίζεται και το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του προγράμματος της προσομοίωσης.

2. Ανάπτυξη του εννοιολογικού μοντέλου: Η δημιουργία του εννοιολογικού ή περιγραφικού μοντέλου δεν είναι μία σαφής και μονοσήμαντη διαδικασία (Morris, 1967). Ο αναλυτής πρέπει να επιλέξει το επίπεδο αφαιρετικότητας. Έτσι, θα είναι σε θέση να μοντελοποιήσει τα κυριότερα συστατικά στοιχεία του υπό μελέτη συστήματος και να ενσωματώσει στο μοντέλο τις βασικές παραδοχές των λειτουργιών του. Η ενεργός εμπλοκή των ενδιαφερομένων στον καθορισμό του εννοιολογικού μοντέλου είναι κρίσιμος παράγοντας επιτυχίας της μοντελοποίησης. Το μοντέλο δεν πρέπει να είναι λεπτομερής απεικόνιση του συστήματος με πλήρη αντιστοιχία σε τμήματα και οντότητες, αλλά είναι προτιμότερο να δημιουργηθεί μία απλοποιημένη έκδοση του μοντέλου και στη συνέχεια αυτό να εμπλουτίζεται όσο χρειάζεται. Η καθολική αναπαράσταση του συστήματος σπάνια χρειάζεται και συνήθως οδηγεί σε υπερβολικούς χρόνους ανάπτυξης, παραβίαση χρονοδιαγραμμάτων και προθεσμιών ενώ παραβλέπονται σημαντικές παράμετροι.

3. Συλλογή δεδομένων: Αφού προηγηθεί η διαμόρφωση του προβλήματος, ο αναλυτής συλλέγει πληροφορίες σχετικά με τη δομή και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Επίσης, προσδιορίζονται, στο βαθμό που είναι αυτό δυνατό, οι βασικές παράμετροι του μοντέλου καθώς και οι κατάλληλες κατανομές των δεδομένων εισόδου. Ο Law (2007) προτείνει όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία να συγκεντρώνονται και να διατυπώνονται γραπτά στο έγγραφο των **παραδοχών** του συστήματος που περιγράφει τον εννοιολογικό σχεδιασμό του μοντέλου. Οι πληροφορίες που συλλέγονται ενδέχεται να οδηγήσουν σε επανασχεδιασμό του εννοιολογικού μοντέλου, γι' αυτό και όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα, οι δύο διαδικασίες πραγματοποιούνται παράλληλα.

4. Ανάπτυξη του τυπικού μοντέλου: Η ανάπτυξη του τυπικού μοντέλου έπεται της εννοιολογικής περιγραφής του συστήματος και ουσιαστικά αποτελεί το στάδιο εκείνο όπου τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν για τη μοντελοποίηση υλοποιούνται με τον καθορισμό των κατάλληλων συστατικών στοιχείων.

5. Ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη: Καλό είναι να υπάρχει συνεχής επικοινωνία και διαπραγμάτευση με τους άμεσα ενδιαφερόμενους κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του μοντέλου. Αφού διαμορφωθεί το έγγραφο των παραδοχών του συστήματος, η ορθότητα του θα πρέπει να επαληθευθεί από εξειδικευμένο κοινό, όπως διευθυντές του συστήματος, αναλυτές,

πελάτες κ.ο.κ. Σε περίπτωση που το μοντέλο κριθεί ανεπαρκές, η διαδικασία σχεδιασμού επαναλαμβάνεται διαμορφώνοντας από την αρχή το πρόβλημα και τον σχεδιασμό της μελέτης.

6. Δημιουργία του περιβάλλοντος προγραμματισμού: Έχοντας εξασφαλίσει ότι το μοντέλο θα δημιουργηθεί ικανοποιώντας τις απαιτήσεις της μελέτης, ο αναλυτής θα κατασκευάσει το υπολογιστικό πρόγραμμα, είτε με τη χρήση μίας γλώσσας προγραμματισμού/ προσομοίωσης είτε με τη χρήση ενός κατάλληλου λογισμικού.

7. Επαλήθευση μοντέλου: Μετά την υλοποίηση του μοντέλου σε προγραμματιστικό περιβάλλον θα πρέπει να επαληθευτεί ότι η προσομοίωση λειτουργεί σωστά. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το πρόγραμμα θα πρέπει να απασφαλματωθεί (debugging). Εάν οι παράμετροι εισόδου και η λογική δομή του μοντέλου απεικονίζονται σωστά στο πρόγραμμα τότε η επαλήθευση έχει ολοκληρωθεί.

8. Πραγματοποίηση δοκιμών: Η πραγματοποίηση δοκιμαστικών εκτελέσεων συμβάλει στην επικύρωση του μοντέλου στο επόμενο βήμα.

9. Επικύρωση του μοντέλου: Το μοντέλο επικυρώνεται εάν αναπαριστά ορθά το σύστημα που προσομοιώνεται. Εάν πρόκειται για ένα ήδη υπάρχον σύστημα. Τότε συγκρίνονται οι δείκτες αποδοτικότητας του μοντέλου και του συστήματος. Σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαία η γνώμη ειδικών στον τομέα της προσομοίωσης. Ο αναλυτής θα πρέπει επιπλέον να κάνει και κάποιες αναλύσεις ευαισθησίας για να προσδιορίσει ποια χαρακτηριστικά επηρεάζουν περισσότερο την προσομοίωση και συνεπώς χρειάζονται παραπάνω προσοχή.

10. Σχεδιασμός πειραμάτων: Για τη μελέτη της προσομοίωσης θα πρέπει να προσδιοριστούν η συνολική χρονική διάρκεια της προσομοίωσης, η χρονική διάρκεια της μεταβατικής περιόδου και ο αριθμός των ανεξάρτητων εκτελέσεων της προσομοίωσης.

11. Εκτέλεση της προσομοίωσης: Η εκτέλεση της προσομοίωσης παράγει τα αποτελέσματα που είναι απαραίτητα για την ανάλυση εξόδου στο επόμενο στάδιο.

12. Πρόσθετες επαναλήψεις: Αφού ολοκληρωθεί ο προκαθορισμένος αριθμός ανεξάρτητων εκτελέσεων της προσομοίωσης, ο αναλυτής καθορίζει εάν θα πρέπει να γίνουν πρόσθετες επαναλήψεις και τον πειραματικό σχεδιασμό που θα ακολουθηθεί γι' αυτές.

13. Ανάλυση εξόδου: Η ανάλυση των δεδομένων της εξόδου της προσομοίωσης γίνεται αφενός για να προσδιοριστεί η αποδοτικότητα συγκεκριμένων διατάξεων του συστήματος και αφετέρου για να συγκριθούν οι διατάξεις μεταξύ τους.

14. Τεκμηρίωση, παρουσίαση και χρήση των αποτελεσμάτων: Το έγγραφο των παραδοχών του συστήματος μαζί με τον πρόγραμμα Η/Υ και τα αποτελέσματα της μελέτης αποτελούν τα εξαγόμενα της τελευταίας φάσης της μελέτης προσομοίωσης. Η άρτια τεκμηρίωση του

προγράμματος είναι πολύ σημαντική αφού εξασφαλίζει την επαναληπτικότητα και την ανεξάρτητη επιβεβαίωση της μελέτης. Πολλές φορές γίνεται και χρήση τεχνικών δυναμικής οπτικοποίησης της κίνησης που διευκολύνουν την εποπτικότητα του μοντέλου. Ο αναλυτής οφείλει να εξηγήσει τη διαδικασία δημιουργίας και επικύρωσης του μοντέλου για να αποδείξει την αξιοπιστία του. Τα αποτελέσματα της μελέτης θα χρησιμοποιηθούν στη λήψη αποφάσεων μόνο εάν είναι αξιόπιστα και επικυρωμένα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τεκμηρίωση και παρουσίαση αποτελεσμάτων δεν είναι υποχρεωτικό να γίνεται στο τέλος της προσομοίωσης. Αντίθετα, είναι προτιμότερο να ορίζονται τμηματικές προθεσμίες για ενημέρωση σχετικά με την πορεία της μελέτης.

2.2.5. Μέθοδοι προσομοίωσης

Μία προσομοίωση μπορεί να εκτελεστεί ακολουθώντας διάφορες τεχνικές, στρατηγικές και μεθοδολογίες [Pidd, 2004]. Στη βιβλιογραφία συναντώνται τέσσερις κυρίως μέθοδοι προσομοίωσης, η προσομοίωση διεργασιών, η προσομοίωση γεγονότων, η προσομοίωση δραστηριοτήτων και η μέθοδος των τριών φάσεων. Η μέθοδος με την οποία η μηχανή προσομοίωσης θα εκτελέσει τη μελέτη έχει σημαντική επίδραση τόσο στην ανάπτυξη του απαραίτητου λογισμικού όσο και στον τρόπο που ο αναλυτής μοντελοποιεί το υπό μελέτη σύστημα.

1. Προσομοίωση διεργασιών: Αυτή η μεθοδολογία βασίζεται στην εκτέλεση διεργασιών που περιγράφουν την προσομοίωση ανεξάρτητων στοιχείων ή τμημάτων του μοντέλου. Το πρόγραμμα προσομοιώνει τη λογική ροή μίας οντότητας του μοντέλου μέσα στο σύστημα. Η οντότητα είτε προχωρά μέσα στο σύστημα έως ότου καθυστερήσει σε κάποιον κόμβο, εισαχθεί σε μία δραστηριότητα ή βγει από το σύστημα (δυναμική οντότητα), είτε δεν κινείται καθόλου (στατική οντότητα). Όταν η κίνηση της οντότητας σταματήσει, ο μηχανισμός ροής του χρόνου αυξάνει τον χρόνο της προσομοίωσης στη χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στην επόμενη κίνηση μίας άλλης οντότητας. Πιο συγκεκριμένα, οι διεργασίες επικοινωνούν μεταξύ τους με τη χρήση σημάτων που προσομοιώνουν την επίδραση του ενός στοιχείου του μοντέλου πάνω σε άλλο. Κάθε τμήμα του μοντέλου έχει τη δική του χρονική λίστα γεγονότων, τα οποία εκτελούνται από το τμήμα σε χρονική σειρά. Η γενική χρονική λίστα, την οποία διαχειρίζεται το πρόγραμμα ελέγχου, περιέχει τα σήματα διατμηματικής επικοινωνίας, επίσης σε χρονολογική σειρά. Η ροή ή κίνηση των οντοτήτων του συστήματος περιγράφει όλες τις καταστάσεις στις οποίες μπορεί να περιέλθει ένα αντικείμενο του συστήματος. Οι οντότητες υπόκεινται σε μία διαδικασία κατά τη διάρκεια της οποίας

προσπαθούν να δεσμεύουν, να χρησιμοποιούν και να αποδεσμεύουν μέσα παραγωγής. Η προσομοίωση διεργασιών είναι κατάλληλη για συστήματα, όπου οι οντότητες μπορούν να διαφοροποιηθούν στη βάση των διαφορετικών ιδιοτήτων που κάθε μία κατέχει. Αντίστοιχα, τα μέσα παραγωγής πρέπει έχουν λίγες ιδιότητες, περιορισμένο αριθμό καταστάσεων (π.χ. αδρανής, απασχολημένος, μη-διαθέσιμος) και να μην αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

2. Προσομοίωση γεγονότων: Είναι η πλέον διαδεδομένη μεθοδολογία προσομοίωσης στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το σύστημα περιγράφεται στη βάση συγκεκριμένων γεγονότων, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία ξεχωριστή ρουτίνα γεγονότων. Η μεθοδολογία στηρίζεται στην αύξηση του χρόνου της προσομοίωσης όταν συμβαίνει κάποιο επόμενο γεγονός. Η πραγματοποίηση ενός γεγονότος απελευθερώνει ένα ή περισσότερα μέσα παραγωγής που με τη σειρά τους προκαλούν τον προγραμματισμό και την εκτέλεση και άλλων ρουτινών. Τότε, η ρουτίνα γεγονότων επαναπροσδιορίζει τις διαθέσιμες οντότητες του συστήματος και προγραμματίζει χρονικά τις δραστηριότητες στις οποίες μπορούν να συμμετάσχουν. Θεωρείται αποδοτική μέθοδος και συχνά συνδυάζεται με την προσομοίωση δραστηριοτήτων ή και διεργασιών. Άλλωστε, όπως υποστηρίζει και ο Law (2007), ακόμη κι αν εφαρμόζεται η προσομοίωση διεργασιών, η εκτέλεση της προσομοίωσης γίνεται στη λογική του προγραμματισμού και της διαχείρισης γεγονότων.

3. Προσομοίωση δραστηριοτήτων: Η μεθοδολογία αυτή αναπτύχθηκε κατά κύριο λόγο στην Αγγλία όπου και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα. Είναι επίσης γνωστή και ως η μεθοδολογία των δύο φάσεων. Η φιλοσοφία της μεθόδου βασίζεται στο ότι ο αναλυτής θα πρέπει να αναγνωρίζει τα αντικείμενα (οντότητες) του συστήματος, τις δραστηριότητες που αυτά εκτελούν και τις προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιηθούν για να πραγματοποιηθεί η εκτέλεσή τους. Έτσι το πρόγραμμα της προσομοίωσης αποτελείται από ανεξάρτητες λειτουργικές μονάδες οι οποίες αναμένουν την ενεργοποίησή τους. Ο έλεγχος των κριτηρίων γίνεται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και καθορίζεται εάν ένα γεγονός μπορεί να πραγματοποιηθεί ή όχι. Εάν το γεγονός πραγματοποιηθεί, τότε η κατάσταση του συστήματος μεταβάλλεται. Η προσομοίωση δραστηριοτήτων μοντελοποιεί ικανοποιητικά συστήματα στα οποία τα διάφορα συστατικά μέρη (components) αλληλεπιδρούν έντονα μεταξύ τους και καθορίζονται από πολύπλοκες αρχικές συνθήκες (π.χ. πολλές οντότητες με πλήθος ιδιοτήτων και καταστάσεων που πρέπει να συνεργαστούν σε δυναμικό περιβάλλον).

4. Μέθοδος των τριών φάσεων: Η μέθοδος είναι εξέλιξη της προσομοίωσης δραστηριοτήτων και βελτιώνει την αποδοτικότητά της. Διαχωρίζει δύο ειδών δραστηριότητες, αυτές που θα πραγματοποιηθούν σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (δραστηριότητες B) και αυτές που θα πραγματοποιηθούν όταν συμβεί κάποια άλλη δραστηριότητα (δραστηριότητες C). Ο

χρόνος πραγματοποίησης των ανεξάρτητων δραστηριοτήτων δεν καθορίζεται επακριβώς από το μοντέλο ούτε πρέπει να είναι γνωστός πριν από την εκκίνηση της προσομοίωσης. Ο χρόνος πολλές φορές υπολογίζεται από την εκτέλεση ενός άλλου γεγονότος. Κάθε μία από τις τρεις φάσεις πραγματοποιεί μία συγκεκριμένη λειτουργία. Η πρώτη φάση ελέγχει τους χρόνους πραγματοποίησης των γεγονότων και αναζητά εκείνες τις δραστηριότητες που θα συμβούν στον τρέχοντα χρόνο της προσομοίωσης. Η δεύτερη φάση εξασφαλίζει ότι όλες οι δραστηριότητες που πρέπει να εκτελεστούν την τρέχουσα χρονική στιγμή της προσομοίωσης εκτελούνται σωστά. Μετά ακολουθεί η τρίτη φάση όπου ελέγχεται εάν οι εξαρτημένες δραστηριότητες μπορούν να πραγματοποιηθούν, δηλ. εάν ικανοποιούνται τα κριτήρια της πραγματοποίησής τους. Όταν καμία δραστηριότητα δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί πια, ο μηχανισμός ροής του χρόνου αυξάνει τον χρόνο της προσομοίωσης και άλλος ένας κύκλος τριών φάσεων ξεκινά μέχρι και την ολοκλήρωση της προσομοίωσης. Η μέθοδος θεωρείται καλύτερη σε σχέση με την προσομοίωση δραστηριοτήτων, γιατί ο έλεγχος ικανοποίησης κριτηρίων γίνεται μόνο για τις δραστηριότητες C, για τις οποίες και έχει νόημα να γίνει. Συνεπώς, ο μηχανισμός της προσομοίωσης δεν αναλώνεται σε άσκοπους ελέγχους των B δραστηριοτήτων και η απόδοση του συστήματος αυξάνεται.

2.2.6. Λογισμικό Προσομοίωσης

Στις μέρες μας δεν νοείται η εκτέλεση μίας μελέτης προσομοίωσης χωρίς τη χρήση H/Y. Ο αναλυτής θα πρέπει να είναι σε θέση να γράψει μία σειρά από οδηγίες, κατανοητές στο λειτουργικό σύστημα του H/Y για να μοντελοποιήσει και να προσομοιώσει το υπό μελέτη σύστημα. Το λογισμικό που θα χρησιμοποιήσει για να αναπτύξει το πρόγραμμά του είναι μία στρατηγική επιλογή που μπορεί να επηρεάσει καταλυτικά τη μοντελοποίηση του συστήματος. Γενικά υπάρχουν τρεις κατηγορίες λογισμικών προσομοίωσης [Banks et al., 2005]

1. Λογισμικό με χρήση γλώσσας γενικής χρήσης

Η δημιουργία εφαρμογών προσομοίωσης με χρήση γλωσσών γενικής χρήσης είναι αρκετά συχνή. Ένας από τους λόγους είναι ότι πολλοί αναλυτές μαθαίνουν τη χρήση τέτοιων γλωσσών, πριν ακόμα ασχοληθούν με εφαρμογές στο πεδίο της προσομοίωσης και γι' αυτό είναι εύκολο να τις εφαρμόσουν. Επίσης, προσφέρουν αρκετά μεγάλη ευελιξία, αφού μπορεί κανείς να προγραμματίσει κάθε είδους σύστημα [Law, 2007]. Για παράδειγμα, οι περισσότερες γλώσσες επιτρέπουν τη δημιουργία υπορουτινών (βλ. FORTRAN),

διαδικασιών και λειτουργιών (βλ. C, C++) και μεθόδων (βλ. Java). Επίσης, δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης διαφορετικών αρχείων ή και πακέτων για τη δημιουργία βιβλιοθηκών και την επαναχρησιμοποίηση του κώδικα[Pidd, 2004]. Τέλος, σημαντικός παράγοντας είναι το χαμηλότερο κόστος για την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης με γλώσσες γενικής χρήσης από ότι με τους άλλους δύο τρόπου που αναφέρονται παρακάτω.

2. Λογισμικό με χρήση γλωσσών προσομοίωσης

Επειδή η προσομοίωση είναι μία εξειδικευμένη διαδικασία ανάλυσης συστημάτων, αναπτύχθηκαν ανάλογες εξειδικευμένες γλώσσες προσομοίωσης που επιτρέπουν την προσομοίωση συστημάτων με τη χρήση εντολών ειδικά προσαρμοσμένων στο πρόβλημα που περιγράφεται. Οι εξειδικευμένες γλώσσες αυτοματοποιούν τις περισσότερες λειτουργίες της προσομοίωσης, όπως η επιλογή της μεθόδου της προσομοίωσης, παραγωγή τυχαίων αριθμών και δειγμάτων, η δημιουργία και η διαχείριση λιστών γεγονότων, η συλλογή δεδομένων και η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, ο μηχανισμός ροής του χρόνου, η δυνατότητα αυτόματης τεκμηρίωσης και αποσφαλμάτωσης του κώδικα κ.τ.λ. Έτσι μειώνεται σημαντικά ο χρόνος ανάπτυξης του μοντέλου και ο αναλυτής μπορεί να αφιερώσει περισσότερο χρόνο σε άλλες φάσεις της μελέτης όπως είναι η ανάλυση των αποτελεσμάτων, η επαλήθευση και επικύρωση του μοντέλου κ.ο.κ. Οι γλώσσες προσομοίωσης άρχισαν να αναπτύσσονται από τις αρχές τις δεκαετίας του 1950 και η εξέλιξή τους συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Βέβαια, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι γλώσσες προσομοίωσης έχουν αυξημένο κόστος απόκτησης και συντήρησης ενώ οι αναλυτές θα πρέπει να αφιερώσουν πολύ χρόνο στην εκμάθηση της γλώσσας που θα χρησιμοποιήσουν. Τα οφέλη όμως από την εφαρμογή τους είναι πολλαπλάσια και γι' αυτό εφαρμόζονται σε πλήθος εφαρμογών και πεδίων.

3. Ολοκληρωμένο περιβάλλον προσομοίωσης

Η ολοένα αυξανόμενη χρήση της προσομοίωσης για την ανάλυση συστημάτων οδήγησε στη δημιουργία λογισμικών που προσφέρουν ολοκληρωμένες υπηρεσίες στους χρήστες τους και ευκολία στο χειρισμό τους. Τα σύγχρονα πακέτα προσομοίωσης παρέχουν τη δυνατότητα παραστατικής καθοδήγησης στην ανάπτυξη του μοντέλου και βοήθεια στην τεκμηρίωση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Τυπικά λειτουργικά χαρακτηριστικά τέτοιων πακέτων είναι ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη (graphical user interface – GUI), οπτικοποίηση (animation) και αυτόματη συλλογή και επεξεργασία αποτελεσμάτων για την ανάλυση της απόδοσης του συστήματος. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης απεικονίζονται με τη μορφή πινάκων ή

γραφικών που διαμορφώνονται με δυναμικό τρόπο, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της προσομοίωσης.

2.2 Η Ανάγκη για αξιοπιστία, συντήρηση και διαθεσιμότητα σε στόλο σκαφών ακτοφυλακής

Η αποστολή ενός Λιμενικού Σώματος-Ακτοφυλακής είναι, μεταξύ άλλων, η επιτυχής επιτήρηση του Θαλάσσιου χώρου αρμοδιότητάς του. Για τον λόγο αυτό το σημαντικότερο εργαλείο το οποίο έχει στην διάθεσή του, είναι ο στόλος σκαφών του. Για να είναι επιτυχής η αποστολή αυτή, τα σκάφη πρέπει να είναι **αξιόπιστα**. Ωστόσο, η συνεχή λειτουργία και η γήρανση των συστημάτων, οδηγούν στη σταδιακή μείωση της απόδοσής τους, της αξιοπιστίας τους και της ασφάλειάς τους. Φθορά, διάβρωση, κόπωση και ενάρξεις ρωγμών αποτελούν κύριες συνιστώσες της υποβάθμισης του στόλου. Με τον όρο υποβάθμιση ενός συστήματος καθορίζουμε την κατάσταση εκείνη κατά την οποία το σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί μέσα στα επιτρεπτά όρια, όχι όμως στα βέλτιστα. Υποβάθμιση έχουμε ακόμα και όταν το σύστημα εκτελεί ορισμένες εκ του συνόλου των απαιτούμενων λειτουργιών. Όταν η υποβάθμιση του συστήματος ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια που έχουν καθοριστεί τότε γίνεται λόγος για αστοχία του συστήματος. Μια αστοχία μπορεί μερικές φορές να είναι καταστροφική. Όταν δε αφορά σε σκάφη μπορούμε να μιλάμε για εκτεταμένες καταστροφές όπως ρύπανση της θάλασσας ή ακόμα και ανθρώπινες απώλειες. Αυτός άλλωστε είναι και ο λόγος που διεθνείς οργανισμοί όπως ο IMO (International Maritime Organization) μελετούν και εξετάζουν όλες τις περιπτώσεις ναυτικών ατυχημάτων και αστοχιών προκειμένου να εντοπιστούν οι κύριες αλλά και οι δευτερεύουσες γενεσιουργές αιτίες που συντέλεσαν στο ατύχημα. Μια βελτίωση των τεχνικών επιθεώρησης του εξοπλισμού και των συστημάτων σίγουρα θα επιφέρουν μείωση των αστοχιών αλλά ποτέ δεν θα οδηγήσουν στην πλήρη αποφυγή τους.

Ακόμα και αν μια αστοχία δεν αποβεί καταστροφική, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της αποτελεσματικότητας της κατά προορισμό λειτουργίας των σκαφών μίας ακτοφυλακής. Οι συνέπειες των ανωτέρω θα επιφέρουν επιπρόσθετα οικονομικά κόστη αλλά και απαξίωση της ικανότητας αστυνόμευσης με αποτέλεσμα την ανομία και ανασφάλεια των πολιτών να εκτελούν πλόες στη θάλασσα.

2.2.1 Αξιοπιστία τεχνολογικών συστημάτων

Μελέτες σύμφωνα με την αξιοπιστία τεχνολογικών συστημάτων φανερώνουν την αξία της σωστά προγραμματισμένης συντήρησης των σκαφών έτσι ώστε να βελτιωθεί ο μέσος χρόνος

μεταξύ βλαβών (Mean Time Between Failures, MTBF) που αυτά παρουσιάζουν [Jones, 2006]. Ως μηχανική αξιοπιστία ενός συστήματος/εξαρτήματος καθορίζεται η πιθανότητα μηδενικής αστοχίας στην εκτέλεση της προδιαγεγραμμένης εργασίας του για καθορισμένο χρονικά διάστημα και δεδομένο λειτουργικό περιβάλλον. Η ανάλυση λοιπόν αξιοπιστίας βοηθά να αναγνωριστεί η κατάσταση του τεχνικού εξοπλισμού και να προβλέψει το υπόλοιπο αξιοποιήσιμου χρόνου ενός συστήματος. Πληροφορίες που σχετίζονται με την παρούσα αλλά και μελλοντική κατάσταση του εξοπλισμού αποτελούν κύριους δείκτες καθορισμού οργάνωσης αλλά και της πολιτικής συντήρησης που θα εφαρμοστεί. Μια εναλλακτική σχεδίαση συστημάτων μπορεί να προσφέρει βελτίωση της αξιοπιστίας, αυτό όμως θα επιφέρει υψηλό κόστος. Σε αυτή τη περίπτωση γίνεται προσπάθεια διασφάλισης της αξιοπιστίας μέσω της αποτελεσματικής συντήρησης.

2.2.2. Μέτρηση Αξιοπιστίας

Η αξιοπιστία ενός συστήματος οφείλεται σε πλήθος παραγόντων όπως το εξωτερικό περιβάλλον, το ανθρώπινο δυναμικό και τα ποιοτικά πρότυπα και τυποποίηση. Ίδια μηχανήματα μπορεί να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ρυθμών λειτουργίας όπως συνεχή λειτουργία ή συχνό “σταμάτημα”. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η κατάσταση θαλάσσης, μπορεί να επηρεάσουν τη μηχανή. Επίσης, ο ανθρώπινος παράγοντας συμβάλει ουσιαστικά στην αξιοπιστία καθώς συνδέεται άμεσα με τον τρόπο χρήσης, τον έλεγχο και την επισκευή του συστήματος και παράγοντες όπως η ανεπαρκής εκπαίδευση, η μικρή εμπειρία, το ηθικό και η κόπωση επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση στην εργασία και συνεπεία την αξιοπιστία του συστήματος. Τέλος, η τυποποίηση της συντήρησης του εξοπλισμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα καθώς κάθε εργασία πρέπει να εκτελείται βάσει των ποιοτικών προτύπων και βάσει τυποποιημένων διαδικασιών καθώς ότι απέχει από την τυποποίηση και τα ποιοτικά πρότυπα οδεύει στο “περίπου”, κάτι το οποίο μειώνει την αξιοπιστία.

2.2.3. Η Μηχανική της συντήρησης

Η μηχανική της συντήρησης ορίζεται ως το σύνολο των τεχνικών εργασιών που στόχος τους είναι: η διασφάλιση της αποτελεσματικότητας, των τεχνικών, ο σχεδιασμός και η τροποποίηση του εξοπλισμού ώστε να βελτιώνει την συντηρισιμότητα, η συνεχής διερεύνηση των τεχνικών προβλημάτων συντήρησης και οι απαραίτητες δράσεις διόρθωσης και βελτίωσης που συνεπάγονται. [Ben-Daya Mohamed et. Al, 2009]

Η μηχανική της συντήρησης είναι από τα πιο βασικά στοιχεία της αριστοποίησης της αξιοπιστίας και της βέλτιστης απόδοσης των εγκαταστάσεων και υποδομών. Αυτές οι δράσεις είναι υπεύθυνες για:

- Την καθοδήγηση για την διασφάλιση της αξιοπιστίας και της συντηρησιμότητας των εγκαταστάσεων, των διεργασιών, των υποστηρικτικών δράσεων και εγκαταστάσεων, των συστημάτων ελέγχου, ασφάλειας και φύλαξης.
- Μείωση και ταυτόχρονα βελτίωση των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης, όπου αυτό είναι εφικτό. Διασφάλιση αποδοτικής και παραγωγικής λειτουργίας των εγκαταστάσεων και των διεργασιών, ενώ παράλληλα προστατεύεται και επιμηκύνεται ο κύκλος ζωής των υποδομών και εγκαταστάσεων, όλα αυτά με την ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση του κόστους συντήρησης.
- Την οργάνωση των συνεργείων και των επιβλεπόντων, καθώς και τον σχεδιασμό και προγραμματισμό των δράσεων συντήρησης. Επίσης η μηχανική της αξιοπιστίας είναι ο βασικός χρήστης του ιστορικού συντήρησης του εξοπλισμού και των υποδομών (συχνότητα και είδος συντηρήσεων, ιστορικό και αιτίες βλαβών, κατάλογος αναλωσίμων κ.τ.λ.). Χωρίς αυτό το τελευταίο, κάθε εργασία συντήρησης δεν θα είναι επαρκώς ελεγχόμενη και αποτελεσματική.

2.2.4 Η έννοια της διαθεσιμότητας

Ως διαθεσιμότητα καλούμε την ικανότητα ενός αντικειμένου να βρίσκεται σε μια κατάσταση στην οποία μπορεί να εκπληρώσει τις απαιτούμενες από αυτό λειτουργίες σε δεδομένες συνθήκες, σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή ή κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος, θεωρώντας ότι του παρέχονται όλοι οι απαιτούμενοι εξωγενείς πόροι.

Η διαθεσιμότητα αποτελεί ύψιστο στόχο για ένα παραγωγικό σύστημα. Τόσο το σύστημα συντήρησης όσο και το τεχνικό σύστημα είναι δομημένα κατά τρόπο που να οδηγούν σε μια υψηλή διαθεσιμότητα του εξοπλισμού. Πιο ειδικά σε ότι αφορά στην Ακτοφυλακή ο στόχος της διαθεσιμότητας των σκαφών συνοδευόμενος από την ασφάλεια των πλόων, αποτελεί τον κύριο άξονα δράσης και λειτουργίας του τμήματος συντήρησης. Ο προγραμματισμός των εργασιών, η πολιτική συντήρησης που εφαρμόζεται, η προτεραιότητα που δίνεται στην αποκατάσταση βλαβών, ο καθορισμός της κρισιμότητας του εξοπλισμού και των εξαρτημάτων καθορίζονται βάσει του άξονα διαθεσιμότητας – ασφάλειας. Καταστάσεις που

προκαλούν προβλήματα στη διαθεσιμότητα (βλάβες, μη προγραμματισμένη συντήρηση, ελλείψεις ανταλλακτικών κ.τ.λ.) αντιμετωπίζονται μέσα από ένα άρτιο οργανωμένο σύστημα συντήρησης.

Η διαθεσιμότητα εξαρτάται από το συνδυασμό των διαστάσεων της αξιοπιστίας, της συντηρησιμότητας και της υποστηριξιμότητας της συντήρησης. Όταν ο παραπάνω συνδυασμός συντελείτε σε ένα πολύπλοκο μηχανικό σύστημα, όπως ένα στόλο σκαφών, η μέτρηση των απαιτήσεων έτσι ώστε να παρέχεται η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και αξιοπιστία περιπλέκεται με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανεξάρτητων συνιστωσών που απαρτίζουν το σύστημα της Ακτοφυλακής.

2.3 Ανασκόπηση της Γενικής Θεωρίας Πολύπλοκων Συστημάτων

Από το 320 π.Χ. οι επιστήμονες με πρώτο τον Αριστοτέλη, προσπαθούν να κατανοήσουν τα πολύπλοκα συστήματα. Έκτοτε έχουν σχηματισθεί αρκετές θεωρίες αναφορικά με το νόημα της σημαντικότητας των πραγμάτων και την διαμόρφωση τεχνικών προσέγγισης και κατανόησης της πολυπλοκότητας των κοινωνικών, φυσικών και άλλων φαινομένων.

2.3.1. Η Μηχανιστική προσέγγιση

Στις αρχές του 17^{ου} αιώνα αναπτύχθηκε μια νέα, μηχανιστική προσέγγιση για την ερμηνεία των φυσικών φαινομένων. Η νέα αυτή προσέγγιση συνδέθηκε με το όνομα του Γαλιλαίου, του Καρτέσιου και του Νεύτωνα, και κυριάρχησε για 300 περίπου χρόνια στον ευρύτερο επιστημονικό χώρο. Σύμφωνα με τη μηχανιστική θεώρηση, τα πάντα συνδέονται μεταξύ τους με μια γραμμική, αιτιοκρατική σχέση. Η γραμμική και αναλυτική μέθοδος αναδείχθηκε σε κυρίαρχη επιστημονική μέθοδο προσέγγισης. Η επιστημονική διερεύνηση των φαινομένων γινόταν με την ανάλυσή τους στα μικρότερα τους τμήματα, προκειμένου να καθοριστεί η σύσταση και η αιτία των φαινομένων. Η κατανόηση των κανόνων που ρυθμίζουν τα μέρη θα οδηγούσε στην κατανόηση του όλου. Βασική αρχή στον αναλυτικό τρόπο σκέψης ήταν ότι το όλο δεν είναι τίποτα περισσότερο από το άθροισμα των μερών του.

Η εφαρμογή της μηχανιστικής προσέγγισης στην περίπτωση του τρόπου διαχείρισης και συντήρησης του στόλου σκαφών της Ακτοφυλακής θα περιελάμβανε την διάσπαση του συστήματος σε υποσυστήματα που αναλύονται ξεχωριστά μεταξύ τους. Για παράδειγμα, μία από τις διεργασίες που επηρεάζει τον χρόνο επιδιόρθωσης των βλαβών είναι η δυνατότητα αντικατάστασης των χαλασμένων μερών. Η μηχανιστική προσέγγιση για την επίτευξη της

διαθεσιμότητας θα ήταν, να χωριστούν οι διεργασίες επιδιόρθωσης σε υποδιεργασίες όπως ανθρώπινο δυναμικό, χρηματοδότηση, πληροφόρηση και ανταλλακτικά. Η απαίτηση των ανταλλακτικών θα χωριζόταν περαιτέρω σε αυτά που βρίσκονται σε άμεση διαθεσιμότητα στην αποθήκη υλικών, σε αυτά που χρειάζονται παραγγελία και αναμονή για παράδοση και σε αυτά που δεν υπάρχουν διαθέσιμα στην αποθήκη αλλά μπορούν άμεσα να αγορασθούν. Με παρόμοιο τρόπο θα μπορούσε να αναλυθεί η διαδικασία της συντήρησης και της υπηρεσιακής λειτουργίας. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την καλύτερη εστίαση σε κάθε ένα ξεχωριστό υποσύστημα, βελτιώνοντάς το, αλλά αυτό δεν συνεπάγεται αναγκαστικά την βελτίωση του συστήματος στο σύνολό του που είναι και ο σκοπός.

2.3.2. Η Ολιστική ή Συστημική Προσέγγιση

Τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα, νέες θέσεις και δεδομένα από επιστήμες όπως η ψυχολογία (ιδιαίτερα η θεωρία του όλου – Gestalt και η αναπτυξιακή ψυχολογία, καθώς και η ψυχοθεραπεία), η βιολογία και η κυβερνητική καθιστούν σαφές ότι η εφαρμογή του προγενέστερου μηχανιστικού μοντέλου δεν μπορεί να ερμηνεύσει όλα τα φαινόμενα. Από το χώρο της βιολογίας επισημάνθηκε ότι οι ιδιότητες του όλου είναι διαφορετικές από τις ιδιότητες των επιμέρους τμημάτων. Από τις παρατηρήσεις αυτές δημιουργήθηκε μια νέα προσέγγιση για τη λειτουργία και ερμηνεία των φαινομένων: η ολιστική ή συστημική προσέγγιση. Η έμφαση στην νέα επιστημονική προσέγγιση δίνεται περισσότερο στην οργάνωση παρά στην ανάλυση. Το όλο είναι διαφορετικό από το άθροισμα των μερών του. Για να κατανοηθεί το όλο, θα πρέπει να εξεταστεί ως ένα ενιαίο σύστημα και όχι ως σύνολο από επιμέρους τμήματα. Οι βασικές αρχές της νέας αυτής επιστημονικής προσέγγισης εκφράζονται στη Γενική Θεωρία Συστημάτων. Σύμφωνα με τον Bertalanffy (1950), γενικές αρχές που εκφράζονται με όρους όπως η ολότητα, διαφοροποίηση, ιεραρχική ταξινόμηση, σκοπιμότητα, όρια μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις επιστήμες που αναφέρονται σε συστήματα.

2.3.3. Η Συστημική Σκέψη

Οι όροι “συστημική προσέγγιση”, “συστημική αντίληψη”, “συστημική μεθοδολογία” ή “συστημική θεωρία”, όπως χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια, διαφοροποιήθηκαν από τη Γενική Θεωρία Συστημάτων, όπως αυτή εκφράστηκε από τον Bertalanffy. Εκείνο που χαρακτηρίζει τη συστημική σκέψη είναι η περιέργεια και η αύξηση της κατανόησης του κόσμου και της γνώσης. Η επίγνωση ότι η γνώση που έχουμε σήμερα για τον κόσμο είναι περιορισμένη – αυτό που μπόρεσε μέχρι σήμερα να κατασκευάσει ο ανθρώπινος νους – και

ότι η γνώση προέρχεται από όλους τους επιστημονικούς χώρους αποτελούν βασικές αρχές της συστημικής σκέψης. Η συστημική προσέγγιση είναι μια ολιστική θεώρηση η οποία ξεπερνά τη διεπιστημονική προσέγγιση και είναι μια θεωρία ενοποιητική: «Αναπτύσσει συνοπτικές έννοιες-κλειδιά σε ανώτερο επίπεδο αφαίρεσης, οι οποίες επιτρέπουν τη συνολική όψη των φαινομένων, χωρίς να χάνεται η δυνατότητα του εστιασμού της επακριβούς και εμπειριστατωμένης περιγραφής επιμέρους λειτουργιών, σε οποιαδήποτε φάση της διαδικασίας κρίνεται αυτό σκόπιμο. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να εξετάσουμε διάφορες οντότητες με βάση τις κοινές τους ιδιότητες, οι οποίες αφορούν τον καθορισμό των σχέσεων ανάμεσα στα μέρη της εσωτερικής τους οργάνωσης, καθώς και στη σχέση τους με το περιβάλλον. Ενώ οι ξεχωριστοί επιστημονικοί κλάδοι και οι διάφορες θεωρίες μάς δίνουν πληροφορίες για επιμέρους φαινόμενα, η συστημική προσέγγιση δίνει τη δυνατότητα να εξεταστεί η εικόνα συνολικά. Έτσι παρακάμπτεται ο κατακερματισμός, οι επιπτώσεις της εξειδίκευσης και το χάος που δημιουργείται από την υπερπληθώρα των πληροφοριών που συχνά μοιάζουν αντιφατικές».

Οι βασικές αρχές της συστημικής προσέγγισης μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε επιστήμη που ασχολείται με τεχνοκρατικά ή με ζωντανά και με αφαιρετικά ή συγκεκριμένα συστήματα. Η δυνατότητα αυτή για γενικότερη εφαρμογή των αρχών της εξασφαλίζει τη μεταφορά των επιτευγμάτων από τον ένα επιστημονικό χώρο στον άλλο και την καλύτερη αξιοποίησή τους από το σύνολο της επιστήμης. Η υιοθέτηση της συστημικής προσέγγισης από επιστήμονες οι οποίοι προέρχονται από διαφορετικούς επιστημονικούς χώρους οδηγεί, επίσης, στη χρήση μιας κοινής γλώσσας που επιτρέπει τη συνεννόηση μεταξύ τους, κάτι πολύ χρήσιμο για την αξιοποίηση της ολοένα αυξανόμενης εξειδίκευσης της πληροφορίας και της πολυπλοκότητας.

2.4 Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost Analysis: LCCA)

Η μέθοδος της ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCCA) αναπτύχθηκε αρχικά για να βοηθήσει το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ στην επιλογή προμηθειών στρατιωτικού υλικού, στα μέσα της δεκαετίας του 1960 [Cole & Sterner, 2000]. Μέχρι και τις αρχές του 1980, η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε κυρίως στον στρατιωτικό τομέα. Μετέπειτα οι εφαρμογές της ανάλυσης Κύκλου Ζωής επεκτάθηκαν και σε άλλους τομείς όπως η Ενέργεια, οι Βιομηχανίες Χημικών και Πετρελαίου και οι Συγκοινωνίες.

Ειδικότερα η μέθοδος ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCCA) είναι μια μεθοδολογία οικονομικής αξιολόγησης κατάλληλη για την επιλογή του οικονομικά βέλτιστου εναλλακτικού σχεδιασμού σε συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο. Η μέθοδος εφαρμόζεται για υποστήριξη λήψης αποφάσεων όπως η αποδοχή ή απόρριψη επιλογών, σχεδιασμών, αντικατάστασης, επιλογών αγοράς ή ενοικίασης.

Η μέθοδος προβλέπει την κοστολόγηση του κύκλου ζωής η οποία είναι πολύ χρήσιμη πληροφορία για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την αγορά ενός προϊόντος, τον προγραμματισμό συντήρησης ή και τον σχεδιασμό αναβάθμισης. Η LCCA χρησιμοποιείται για ένα πλήθος σκοπών όπως η ενημέρωση και ενθάρρυνση των δημοσίων φορέων, η παροχή συμβουλευτικών πληροφοριών κατάλληλων προς πελάτες και όσους χαράσσουν πολιτικές, η υποστήριξη επιχειρηματικών σεναρίων, η σύγκριση εναλλακτικών επενδυτικών επιλογών, η σύνταξη λεπτομερών προϋπολογισμών, η διευκόλυνση αγοραστικών επιλογών, η οικονομική αξιολόγηση κύκλου ζωής προϊόντων και η παρακολούθηση και ο έλεγχος κοστών [Langdon, 2007].

2.5 Συστημική Δυναμική

Στα τέλη περίπου της δεκαετίας του 1950 ένας μηχανικός ονόματι Forrester στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT) ανέπτυξε μια πολύ ισχυρή μέθοδο περιγραφής των αλληλοσχετιζόμενων συστημάτων όπως επίσης και τη γλώσσα προσομοίωσης Dynamo για την αριθμητική προσομοίωση των δυναμικών συστημάτων. Η προσέγγιση του βασίζεται στον εντοπισμό σημείων συσσώρευσης (stocks) και ροών (flows) και ο σχηματικός αλλά και μαθηματικός συσχετισμός τους παρακάμπτοντας την ανάγκη χρήσης διαφορικών εξισώσεων και ονομάστηκε συστημική δυναμική.

Η συστημική δυναμική είναι μία μέθοδος κατανόησης περίπλοκων συστημάτων. Όπως μία αεροπορική εταιρεία χρησιμοποιεί προσομοιωτές πτήσης για να βοηθήσει τους πιλότους να μάθουν να πιλοτάρουν, η συστημική δυναμική είναι, κατά προσέγγιση, μία μέθοδος παραγωγής τέτοιων προσομοιωτών πτήσης, συχνά χρησιμοποιώντας μοντέλα προσομοίωσης με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, έτσι ώστε να βοηθήσουν στην εκμάθηση της δυναμικής πολυπλοκότητας, κατανόηση της πηγής αποτυχίας μίας πολιτικής και την σχεδίαση ποιο επιτυχημένων και στοχευμένων πολιτικών. [Sterman, 2000]. Η συστημική δυναμική στοχεύει να γεφυρώσει το κενό μεταξύ της κοινωνίας, των επιστημόνων και των κοινωνικών ηγετών

(social leaders) παρέχοντας τα εργαλεία και τους όρους ανάλυσης και σύνθεσης περίπλοκων συστημάτων. Η συστημική ανάλυση ως αυστηρή επιστημονική προσέγγιση συνίσταται σε:

- μια ιδιαίτερη ολιστική φιλοσοφική θεώρηση της πραγματικότητας,
- ένας εξειδικευμένος κώδικας επικοινωνίας μεταξύ των ειδικών,
- ένα ολοκληρωμένο σύνολο επιστημονικών εργαλείων, μεθόδων και μεθοδολογιών.

που από κοινού έχουν ως σκοπό τη διεπιστημονική, ολιστική και συστημική αντιμετώπιση δυσεπίλυτων και ισχυρών προβλημάτων.[<http://www.hsss.gr/diakiriksi.html>]

Ωστόσο, η Συστημική δυναμική δεν είναι ένα εργαλείο πρόβλεψης. Ο σκοπός είναι η απάντηση στην ερώτηση «Τι θα συνέβαινε σε ένα σαφώς προσδιορισμένο αλλά περίπλοκο μοντέλο εάν αλλάξαμε κάποιες συγκεκριμένες παραμέτρους αυτού». [Jean D. Lebel , SYSTEM DYNAMICS, 1981]

Η κεντρική ιδέα της συστημικής δυναμικής είναι η εξέταση θεμάτων από διαφορετικές σκοπιές και η διεύρυνση των ορίων των σκεπτικιστικών μοντέλων λαμβάνοντας προς τούτο υπόψη τις μακροπρόθεσμες συνέπειες και παρεμβολές των αποφάσεων συμπεριλαμβάνοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, στον πολιτισμό και την ηθική. [Meadows et al, 1982]

Η συστημική δυναμική είναι μια προοπτική με χρήση εννοιολογικών εργαλείων τα οποία βοηθούν στην κατανόηση της δομής και της δυναμικής πολύπλοκων συστημάτων. Η συστημική δυναμική είναι επίσης μια σχολαστική μέθοδος μοντελοποίησης η οποία βοηθάει στην κατασκευή μοντέλων προσομοίωσης πολύπλοκων συστημάτων έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν για την σχεδίαση πιο αποτελεσματικών πρακτικών. Τα εργαλεία αυτά μαζί επιτρέπουν την κατασκευή προσομοιώσεων διαχείρισης σε εικονικούς μικρόκοσμους όπου ο χρόνος και ο χώρος μπορούν να συμπιεστούν και να επιβραδυνθούν έτσι ώστε να επιτευχθεί η παρατήρηση των μακροπρόθεσμων συνεπειών μιας απόφασης, η ταχύτερη μάθηση, η ανάπτυξη της κατανόησης των πολύπλοκων συστημάτων και η σχεδίαση δομών και στρατηγικών για την κατά το δυνατόν μεγαλύτερη επιτυχία. [Stermann, 2000]

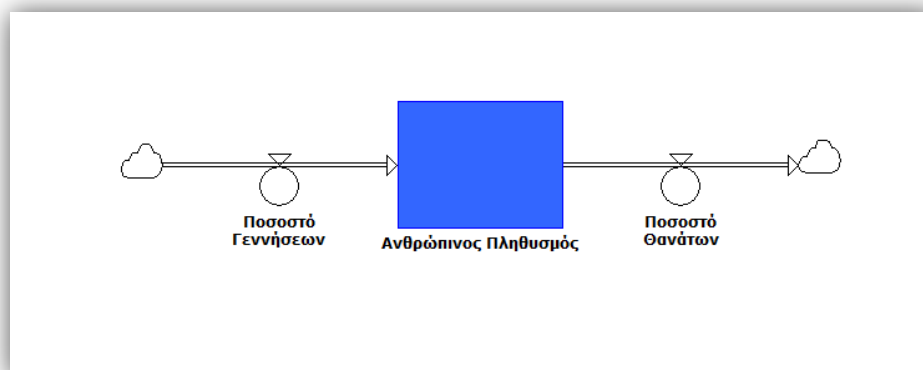
Η συστημική δυναμική μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε δυναμικό σύστημα χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε χωροχρονική κλίμακα. Σε ένα κόσμο γεμάτο επιχειρήσεις και κοινωνικές πολιτικές, η μέθοδος της συστημικής δυναμικής έχει εφαρμοστεί σε βιομηχανίες αεροσκαφών έως και ψευδαργύρου και σε θέματα όπως το AIDS μέχρι και την επίτευξη της γενικής ευημερίας. [Stermann, 2000]

2.4.1. Γραφική Αναπαράσταση

Κάθε σύστημα δύναται να αναπαρασταθεί με τη βοήθεια *διαγραμμάτων αιτιότητας* (causal loop diagrams), *διαγραμμάτων συσσώρευσης και ροής* (stock and flow diagrams) και συνδυασμού αυτών. Τα πρώτα απαρτίζονται από μεταβλητές των οποίων η αλληλεπίδραση συμβολίζεται με συνδέσμους (βέλη). Η πόλωση κάθε συνδέσμου υποδεικνύεται προαιρετικά με το σύμβολο (+) ή (-) τοποθετημένο επί του συνδέσμου. Η πόλωση του συνδέσμου που ενώνει δύο μεταβλητές περιγράφει το πως αλλάζει μια μεταβλητή από την επίδραση της άλλης.

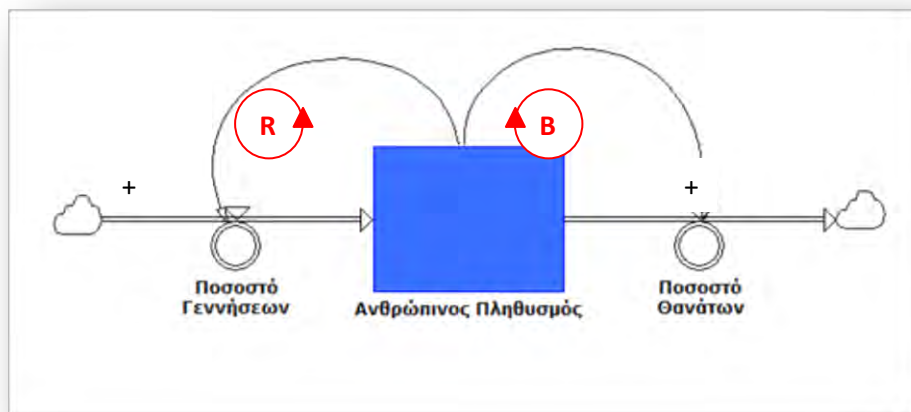
Ενδέχεται τα διαγράμματα αιτιότητας να δημιουργήσουν βρόχους που αναδεικνύουν την ύπαρξη ανατροφοδότησης ή ανάδρασης (feedback) και κατ' επέκταση κυκλικών συλλογισμών. Στην περίπτωση που σ' ένα βρόχο, ο αριθμός των αρνητικών πολώσεων είναι άρτιος, λέγεται ότι ο βρόχος είναι θετικός. Αντίθετα, όταν ο αριθμός των αρνητικών πολώσεων είναι περιττός, ο βρόχος ονομάζεται αρνητικός. Γενικά, οι θετικοί βρόχοι σχηματίζονται όταν, από την επίδραση ενός αίτιου, τείνει να αλλάξει η συμπεριφορά του συστήματος ενώ, αντίθετα, οι αρνητικοί βρόχοι τείνουν να «εξουδετερώνουν» τις οποιεσδήποτε αλλαγές σ' ένα σύστημα (Sterman, 2000). Γενικά, ένας θετικός βρόχος ονομάζεται *βρόχος ανάδρασης* (reinforcing feedback loop) ενώ ένας αρνητικός εξισορροπητικός (balancing loop).

Στο σχήμα 1, παρατίθεται ένα παράδειγμα διαγράμματος συσσώρευσης και ροής που αφορά τον ανθρώπινο πληθυσμό.



Σχήμα 2. Παράδειγμα Διαγράμματος συσσώρευσης και ροής ανθρώπινου πληθυσμού

Όπως φαίνεται, ο ανθρώπινος πληθυσμός επηρεάζεται από δύο βασικές ροές, το ποσοστό γεννήσεων και το ποσοστό θανάτων. Όταν το ποσοστό των γεννήσεων αυξάνεται, τότε η συσσώρευση «Ανθρώπινος Πληθυσμός» αυξάνεται. Αντίθετα, όταν το ποσοστό των θανάτων αυξάνεται τότε ο ανθρώπινος πληθυσμός μειώνεται, άρα ο βρόχος ανάδρασης της συσσώρευσης «Ανθρώπινος Πληθυσμός» και της ροής «Ποσοστό Γεννήσεων» είναι αναδραστικός (Reinforcing feedback loop , R), ενώ αντίθετα ο βρόχος ανάδρασης της συσσώρευσης «Ανθρώπινος Πληθυσμός» και της ροής «Ποσοστό Θανάτων» είναι εξισορροπητικός (Balancing loop, B) (Σχήμα 2).



Σχήμα 3. Παράδειγμα Βρόχου ανάδρασης και Εξισορροπητικού βρόχου

Το πολύ απλό παράδειγμα του ανθρώπινου πληθυσμού δείχνει τον τρόπο που αλληλεπιδρούν οι διάφορες μεταβλητές του συστήματος μεταξύ τους καθώς και το πώς δημιουργούνται οι πολώσεις που αναπτύχθηκαν παραπάνω. Το ποσοστό γεννήσεων καθώς και το ποσοστό θανάτων μπορεί να αλλάξει με το πέρασμα των ετών λόγω εξωτερικών παραγόντων όπως η οικονομική ευημερία ή η υφέση. Κάποιες περιόδους το αποτέλεσμα του συστήματος θα επηρεάζεται περισσότερο από τον βρόχο ανάδρασης (αύξηση του πληθυσμού) ενώ σε άλλες θα επηρεάζεται περισσότερο από τον εξισορροπητικό βρόχο (μείωση πληθυσμού).

2.4.2. Λογισμικό Προσομοίωσης Συστημάτων Συστημικής Δυναμικής

Η μοντελοποίηση οδηγεί στη δομημένη περιγραφή ενός προβλήματος που διερευνά το πρόγραμμα. Σε αυτήν τη διαδικασία, το λογισμικό συστημικής δυναμικής συμβάλλει στη συμβολική περιγραφή των ιδεών, στη διατύπωση των συλλογισμών και στην οργάνωση των επιχειρημάτων με τρόπο σαφή και δομημένο. Θα έλεγε κανείς πως η μοντελοποίηση που πραγματοποιείται με τη βοήθεια του λογισμικού, προτρέπει τους συστημικούς επιστήμονες

να εξωτερικεύσουν τα νοητικά τους μοντέλα και να τους δώσουν την υπόσταση γραφικών μοντέλων.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετά προγράμματα προσομοίωσης συστημικής δυναμικής. Κάποια από αυτά είναι το Vensim, το Dynamo Plus, το Stella/ithink, το Extend και το Powersim.

Vensim: Αρχικά αναπτύχθηκε την δεκαετία του 1980 με σκοπό την χρήση του σε συμβουλευτικά προγράμματα. Το πρόγραμμα αυτό έγινε διαθέσιμο στο εμπόριο το 1992. Πρόκειται για ένα ισχυρό εργαλείο ανάπτυξης μοντέλων συστημικής δυναμικής. Η μοντελοποίηση γίνεται αρχικά μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος έτσι ώστε να δημιουργηθούν τα διαγράμματα αιτιώδους βρόγχου, τα οποία και θα αποτελέσουν και την βάση του μοντέλου. Το Vensim αυτόματα εντοπίζει τις σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων και βοηθάει τον χρήστη να εντοπίσει τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ αυτών. Τέλος, είναι αρκετά φιλικό προς τον χρήστη καθώς προσφέρει ανάλυση αποτελεσμάτων με χρήση διαγραμμάτων και πινάκων. Το Vensim είναι proprietary λογισμικό που σημαίνει ότι είναι κλειστού κώδικα και απαιτεί άδεια χρήσης και λειτουργίας.

Dynamo Plus: Είναι η πρώτη γλώσσα προγραμματισμού που δημιουργήθηκε για την προσομοίωση μοντέλων συστημικής δυναμικής και για πολύ καιρό η μια και μοναδική. Η γλώσσα έγινε γνωστή στο ευρύ κοινό στις αρχές του 1960. Αυτή η γλώσσα προγραμματισμού επιτρέπει την δημιουργία πολύ μεγάλων και πολύπλοκων προσομοιώσεων. Η μοντελοποίηση ξεκινά με την καταχώρηση των εξισώσεων που περιγράφουν τα διαγράμματα του μοντέλου που έχουν σχεδιαστεί στο «χαρτί». Το εργαλείο αυτό είναι περίπλοκο και χρειάζεται ιδιαίτερες προγραμματιστικές αλλά και μαθηματικές γνώσεις, ωστόσο έχει μεγάλη υπολογιστική δύναμη. Δεν χρησιμοποιείται πλέον καθώς δεν υποστηρίζεται από τα σύγχρονα λογισμικά και είναι κλειστού κώδικα.

Stella/ithink: Το πρόγραμμα αυτό προβλήθηκε αρχικά στο Macintosh το έτος 1984. Το Stella προσφέρει ένα γραφικό περιβάλλον για την κατασκευή των συστημικών μοντέλων. Το Stella χρησιμοποιείται περισσότερο για διδακτικούς σκοπούς ενώ το ithink περισσότερο σε επιχειρήσεις. Λόγω των ισχυρών χαρακτηριστικών του αλλά και την ευκολία στην χρήση, το Stella/ithink είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα προσομοίωσης μοντέλων συστημικής δυναμικής. Μερικές από τις δυνατότητες του είναι η σχεδίαση διαγραμμάτων αποθέματος και ροής (stock and flow diagrams) και η δόμηση του μοντέλου πριν την εισαγωγή των εξισώσεων. Παράλληλα, παρέχονται δυνατότητες όπως η διαίρεση του μοντέλου σε υπο-μοντέλα, η εστίαση σε κάθε οντότητα ξεχωριστά και η συμπλήρωση

περαιτέρω πληροφοριών σε έτερο χρόνο. Επίσης, παρέχονται εκτενείς και πλήρης οδηγίες χρήσης του προγράμματος. Τέλος, το πρόγραμμα είναι και αυτό κλειστού κώδικα και χρειάζεται άδεια για την λειτουργία και χρήση του.

Extend: Το πρόγραμμα αυτό αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και παρέχει γραφικό περιβάλλον μοντελοποίησης. Πρόκειται για ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο μοντελοποίησης, το οποίο έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης συνεχούς αλλά και διακριτών μοντέλων. Παρέχεται σε διάφορες εκδόσεις ανάλογα με τις ανάγκες, είναι και αυτό κλειστού κώδικα και για την χρήση του χρειάζεται ειδική άδεια.

Powersim Studio: Στα μέσα της δεκαετία του 1980 η Νορβηγική κυβέρνηση, χρηματοδότησε μια έρευνα που σκοπό είχε την βελτιστοποίηση της ποιότητας του συστήματος εκπαίδευσης με την χρήση μοντέλων συστημικής δυναμικής. Το αποτέλεσμα ήταν η αρχική έκδοση του Powersim. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που βασίζεται σε διαγράμματα ροής το οποίο είναι σε θέση να προσομοιώσει πολλαπλά μοντέλα ταυτόχρονα αλλά και να συνδέσει τα μοντέλα αυτά μεταξύ τους. Παρέχεται η δυνατότητα ανάπτυξης εργαλείων διαχείρισης του μοντέλου για την αρχικοποίηση του, η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων με διαγράμματα και πίνακες καθώς και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε υπολογιστικά φύλλα του Microsoft office. Τέλος, είναι και αυτό κλειστού κώδικα και για την χρήση του απαιτείται σχετική άδεια. [Andersson & Karlsson, 2001]

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε το πρόγραμμα PowerSim Studio 9, λόγω των δυνατοτήτων που παρέχει αλλά και της άδειας που κατέχει το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας για την χρήση του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μελέτη περίπτωσης – Μεθοδολογία - Μοντελοποίηση

3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το υπό μελέτη πρόβλημα αφορά έναν στόλο σκαφών ακτοφυλακής, την επιχειρησιακή τους ετοιμότητα αλλά και το κόστος που αυτή συνεπάγεται. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται η εύρεση της βέλτιστης αναλογίας στόλου σκαφών ακτοφυλακής έτσι ώστε να παρέχεται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σκαφών ενώ ταυτόχρονα το κόστος να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.

Οι ερώτηση λοιπόν του προβλήματος που θέλουμε να απαντήσουμε είναι οι εξής:

- **Ποια είναι η καλύτερη αναλογία στόλου ανάμεσα σε τέσσερις τύπους σκαφών έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σε σχέση με το κόστος;**

Οι κύριες μεταβλητές του υπό ανάπτυξη μοντέλου είναι η ανάλυση του στόλου σκαφών που έχουμε στη διάθεσή μας, το κόστος το οποίο προκύπτει από την συντήρηση και ανατροφοδότηση του στόλου και οι επιχειρησιακές ώρες λειτουργίας αυτού.

3.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΣΚΑΦΩΝ

Οι τύποι των πλωτών μέσων που διαθέτουμε στο στόλο μας κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Γεν. Κατηγορία: Α' ΠΕΡΙΠΟΛΙΚΑ

- (Κατηγ:Α-1) “ ΠΕΡΙΠΟΛΙΚΑ ΠΛΟΙΑ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΗΣ Λ.Σ.

ΠΑΘ/Λ.Σ.” (OFFSHORE PATROL VESSELS H.C.G.) >45 μ.

Στελέχωση: 34 άτομα

- (Κατηγ: Α-2) “ ΠΕΡΙΠΟΛΙΚΑ ΠΛΟΙΑ Λ.Σ. – ΠΠΛ.Σ.”

(PATROL VESSELS H.C.G.) >25 μ.

Στελέχωση: 12 άτομα

- (Κατηγ: Α-3) “ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΤΑΧΕΑ ΠΕΡΙΠΟΛΙΚΑ ΣΚΑΦΗ – ΠΛ.Σ.”

(COASTAL/FAST PATROL BOATS) >15 μέτρων και ταχύτητας άνω των 25 κόμβων .

Στελέχωση: 6 άτομα

- (Κατηγ: Α -4) “ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΠΟΛΙΚΑ ΣΚΑΦΗ – ΠΛ.Σ. ”

(COASTAL/FAST PATROL BOATS) >10 μέτρων

(εκτός πνευστού τύπου)

Στελέχωση: 5 άτομα

- (Κατηγ: Α -5) “ ΤΑΧΥΠΛΟΑ ΠΕΡΙΠΟΛΙΚΑ ΣΚΑΦΗ – F.P.C.”

(FAST PATROL CRAFTS). > 7 μέτρων.

Στελέχωση: 3 άτομα

- Γεν. Κατηγορία: Β' ΝΑΥΑΓΟΣΩΣΤΙΚΑ

- (Κατηγ: Β - 1) “ ΝΑΥΑΓΟΣΩΣΤΙΚΑ – S.A.R.”

(SEARCH AND RESCUE - BOATS)

Στελέχωση: 9 άτομα

- Γεν. Κατηγορία: Γ' ΠΛΟΙΑ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ

- (Κατηγ: Γ – 1) “ ΣΚΑΦΗ ΚΑΙ ΠΛΟΙΑ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ – Α/Ρ.Υ.”

(ANTI POLLUTION VESSELS τύπου POLL CAT)

Στελέχωση: 8 άτομα

- Γεν. Κατηγορία: Δ' ΠΟΛΥΑΠΛΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

- (Κατηγ: Δ – 1) ΣΚΑΦΗ ΚΑΙ ΠΛΟΙΑ > 25 μέτρων

Στελέχωση: 11 άτομα

- (Κατηγ: Δ – 2) ΣΚΑΦΗ < 25 μέτρων

Στελέχωση: 8 άτομα

Επίσης τα σκάφη κατηγοριοποιούνται βάση των συνθηκών που επιχειρούν, σύμφωνα με την Οδηγία 94/25 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως κάτωθι:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΚΑΦΩΝ

Κατηγορία σχεδιασμού	Ισχύς ανέμου (Κλίμακα μποφόρ)	Χαρακτηριστικό ύψος κύματος (H 1/3 σε μέτρα)
A. Ποντοπόρα	>8	>4
B. Ανοικτού πελάγους	≤8	≤4
Γ. Ακτοπλοϊκά	≤6	≤2
Δ. Προφυλαγμένων υδάτων	≤4	≤0,5

Πίνακας 1. Κατηγορίες σχεδιασμού σκαφών

ΟΡΙΣΜΟΙ:

A. ΠΟΝΤΟΠΟΡΑ : Σκάφη εν γένει αυτοδύναμα σχεδιασμένα για παρατεταμένα ταξίδια όπου μπορεί να επικρατούν συνθήκες ανέμου ισχύος άνω των 8 μποφόρ και κύματος χαρακτηριστικού ύψους άνω των 4 μέτρων.

Β. ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ : Σχεδιασμένα για ταξίδια ανοικτού πελάγους όπου μπορεί να εμφανιστούν συνθήκες ανέμου ισχύος έως και 8 μποφόρ χαρακτηριστικού ύψους έως και 4 μέτρων.

Γ. ΑΚΤΟΠΛΟΪΚΑ : Σχεδιασμένα για ταξίδια σε παράκτια ύδατα, μεγάλους κόλπους, εκβολές ποταμών, λίμνες και ποτάμια όπου μπορεί να εμφανιστούν συνθήκες ανέμου ισχύος έως και 6 μποφόρ κύματος χαρακτηριστικού ύψους έως 2 μέτρων.

Δ. ΠΡΟΦΥΛΑΓΜΕΝΩΝ ΥΔΑΤΩΝ : Σχεδιασμένα για ταξίδια με μικρές λίμνες, ποτάμια και διώρυγες όπου μπορεί να εμφανιστούν συνθήκες ανέμου ισχύος και 4 μποφόρ και κύματος χαρακτηριστικού ύψους έως και 0,5 μέτρων.

Κάθε σκάφος είναι σχεδιασμένο λοιπόν, ανάλογα με την κατηγορία του, να επιχειρεί σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες και περιοχές.

Παραδοχές στόλου σκαφών:

- Στο υπό μελέτη πρόβλημα θεωρούμε ότι έχουμε μόνο δύο κατηγορίες σκαφών ακτοφυλακής, την κατηγορία **A-1** και την κατηγορία **A-2**.
- Θεωρούμε ότι τα σκάφη της κατηγορίας **A-1** είναι **Ποντοπόρα**, δηλαδή μπορούν να επιχειρούν και με συνθήκες άνω των 8 Μποφόρ και κύματος χαρακτηριστικού ύψους άνω των 4 μέτρων.
- Θεωρούμε ότι τα σκάφη της κατηγορίας **A-2** είναι **Ανοικτού Πελάγους**, δηλαδή μπορούν να επιχειρήσουν με συνθήκες ανέμου ισχύος έως και 8 μποφόρ χαρακτηριστικού ύψους έως και 4 μέτρων.

3.1.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Το κόστος που προκύπτει για την λειτουργία αναλύεται σε τρία επί μέρους στοιχεία:

1. Κόστος συντήρησης

Η συντήρηση είναι μια λειτουργία η οποία έχει σκοπό τη διατήρηση του εξοπλισμού στις προδιαγεγραμμένες του επιδόσεις, τη προστασία της ασφάλειας των επιβαινόντων από τη χρήση του εξοπλισμού και την προστασία του περιβάλλοντος. Η συντήρηση λοιπόν ασχολείται με το σχεδιασμό, την οργάνωση και τον έλεγχο ώστε να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω.

Κατηγοριοποιούμαι τη συντήρηση, σύμφωνα με την στρατηγική συντήρησης των Ηνωμένων Πολιτειών για τον στόλο του Ναυτικού (Maintenance Policy for United States Navy Ships). Έτσι έχουμε τρία βασικά επίπεδα συντήρησης: 1) Οργανωτικό επίπεδο συντήρησης (Organizational – Level maintenance), 2) Ενδιάμεσο επίπεδο συντήρησης (Intermediate – Level Maintenance) και τέλος, 3) Εργοστασιακό επίπεδο συντήρησης (Depot –level Maintenance).

1. Οργανωτικό επίπεδο συντήρησης (Organizational – Level maintenance)

Στο επίπεδο αυτό διενεργείται η χαμηλού επιπέδου συντήρηση η οποία περιέχει όλες τις ενέργειες συντήρησης εντός του σκάφους από το προσωπικό που στελεχώνεται σε αυτό. Αποτελεί την πρώτη βαθμίδα ασφαλείας εναντίον μικροπροβλημάτων που μπορεί να δημιουργήσουν μεγαλύτερα προβλήματα στην μετέπειτα ζωή και επιχειρησιακή λειτουργία του σκάφους. Με τις παραπάνω προϋποθέσεις και μέσα από τους περιορισμούς σε πόρους, τα πληρώματα καλούνται να διατηρήσουν την αυτάρκεια και αυτοδυναμία του σκάφους, ενώ ταυτόχρονα να αξιολογούν την οποιαδήποτε δυσλειτουργία. Η αξιολόγηση περικλείει την αναγνώριση, εντοπισμό και αναφορά του οποιουδήποτε προβλήματος παρουσιασθεί κατά τον πλου.

Οι εργασίες που γίνονται σε αυτό το επίπεδο αφορούν κυρίως τον καθαρισμό, την συντήρηση εγκαταστάσεων, την επιθεώρηση μέσω διαγνωστικών εργαλείων της ορθής λειτουργίας, την λίπανση των μηχανών, βαθμονόμηση, επισκευή μικρών βλαβών που παρουσιάζονται και την πρόσκαιρη αντιμετώπιση δυσλειτουργιών ώστε το σκάφος να παραμένει το δυνατόν αυτόνομο και επιχειρησιακό.

Τέλος, στο συγκεκριμένο επίπεδο συντήρησης το σκάφος παραμένει σε λειτουργία, δηλαδή είναι επιχειρησιακό και δεν προσμετράται χρόνος αποκατάστασης διότι λογίζεται μηδαμινός ως πολύ μικρός και δεν είναι άξιος σημειώσεως.

2. Ενδιάμεσο επίπεδο συντήρησης (Intermediate – Level Maintenance)

Πρόκειται για τη συντήρηση η οποία χρειάζεται δεξιότητες, εγκαταστάσεις ή και μηχανήματα που ξεπερνούν τα όρια της αυτονομίας του σκάφους και άρα είναι δύσκολο να βρεθούν στο προηγούμενο επίπεδο. Ωστόσο, δεν απαιτείται η εργοστασιακού επιπέδου συντήρηση. Συνήθως πρόκειται για προγραμματισμένη συντήρηση η οποία δύναται να διαρκέσει αρκετές ημέρες, ωστόσο δεν είναι απαραίτητη η μετακίνηση του σκάφους από τη βάση του. Κατά τη διάρκεια συντήρησης αυτού του επιπέδου το σκάφος δεν είναι ενεργό και βγαίνει σε ακινησία. Δύναται ο προγραμματισμός της συντήρησης να γίνει κατόπιν αιτήσεως στα κεντρικά

της Υπηρεσίας, έτσι ώστε εκείνη να αποφασίσει την έγκριση ή απόρριψη ακινησίας λόγω συντήρησης, λαμβάνοντας υπόψη τα εκάστοτε ανενεργά σκάφη και τις Υπηρεσιακές ανάγκες.

3. Εργοστασιακό επίπεδο συντήρησης (Depot –level Maintenance)

Στο τελευταίο επίπεδο συντήρησης, τα σκάφη χρειάζονται εξειδικευμένες πλέον γνώσεις, εγκαταστάσεις και υλικά τα οποία ξεπερνούν τα προηγούμενα επίπεδα. Συνήθως πρέπει να μεταφερθούν στην εξειδικευμένη βάση όπου παραμένουν για αρκετό καιρό. Σε αυτό το επίπεδο συντήρησης προσμετρούνται και σοβαρές βλάβες των μηχανών μέχρι και ολική αντικατάσταση αυτών. Τα σκάφη σε αυτό το επίπεδο δεν είναι πλέον επιχειρησιακά και χρήζουν άμεσης συντήρησης - επιδιόρθωσης. Στο τέλος της συγκεκριμένης συντήρησης τα σκάφη σχεδόν επανέρχονται στην πρότερη επιχειρησιακή τους κατάσταση.

2. Κόστος βλαβών ή δυσλειτουργίας

Η επιχειρησιακή ετοιμότητα του σκάφους εξαρτάται και από την συχνότητα των βλαβών που μπορεί να παρουσιάσει. Κάθε σκάφος διατηρεί έναν μετρητή ο οποίος ονομάζεται **MTBF** από τα αρχικά του όρου «**Mean Time Between Failures**», δηλαδή Μέσος Χρόνος μεταξύ Βλαβών και όπως δηλώνει και η ονομασία του, μετράει τον μέσο χρόνο που η μηχανή του σκάφους παρουσιάζει μία βλάβη. Συνήθως, όταν ένα σκάφος συντηρείται συχνά και σύμφωνα με τις υποδείξεις του κατασκευαστή αυτό δεν παρουσιάζει συχνές ή/και σημαντικές δυσλειτουργίες και άρα το MTBF του είναι υψηλό, στην αντίθετη περίπτωση ένα σκάφος που δεν συντηρείται σύμφωνα με τις υποδείξεις τείνει να παρουσιάζει χαμηλό MTBF.

Μία βλάβη στην μηχανή του σκάφους μπορεί να καταστήσει το σκάφος ανίκανο για λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα και το κόστος για την επισκευή και ενεργοποίησή του να είναι αρκετά υψηλό. Άρα δεν θα μπορούσαμε να παραβλέψουμε το κόστος επισκευής βλαβών από το μοντέλο. Συναφώς το **Failure cost** είναι το κόστος επισκευής μιας έκτακτης βλάβης ή αστοχίας υλικού.

3. Κόστος λειτουργίας

Η επιχειρησιακή ετοιμότητα και χρήση ενός σκάφους δημιουργεί συγκεκριμένα λειτουργικά κόστη. Τα κόστη αυτά χωρίζονται στα κόστη του προσωπικού που στελεχώνουν το κάθε σκάφος και στο κόστος καυσίμου.

Κάθε σκάφος στελεχώνεται από διαφορετικό αριθμό προσωπικού, συνειρμικά λοιπόν, είναι ευνόητο πως μεγαλύτερα σκάφη χρειάζονται περισσότερο προσωπικό και άρα κοστίζουν περισσότερο από άλλα. Στην περίπτωση που εξετάζουμε, τα σκάφη που έχουμε στη διάθεσή μας στελεχώνονται από το προσωπικό που περιγράψαμε στην παράγραφο 1. Έτσι λοιπόν έχουμε διαφορετικό κόστος προσωπικού για το κάθε σκάφος. Κατά μέσω όρο το κάθε ένα στέλεχος κοστίζει περίπου 23.000 € τον χρόνο. Σε περίπτωση ακινησίας του σκάφους λόγω συντήρησης, το κόστος παραμένει το ίδιο καθώς τα στελέχη παραμένουν ενεργά και απασχολούνται είτε στις εργασίες επισκευής – συντήρησης του σκάφους, είτε ως συμπληρωματικό πλήρωμα σε άλλα σκάφη. Άρα το κόστος του κάθε εργαζόμενου παραμένει σταθερό. Θέλοντας να προσδιορίσουμε ένα μέγεθος για το σταθερό αυτό κόστος, ονομάζουμε

$$staff_cost_per_year = 23.000 \text{ €/year}$$

Πέρα από το κόστος προσωπικού, κάθε σκάφος για να κινηθεί χρειάζεται και το απαραίτητο καύσιμο. Υπάρχουν δύο ειδών κινητήρες: οι βενζινοκινητήρες και οι diesel (δλδ. πετρελαιοκινητήρες). Οι τιμές των δύο αυτών καυσίμων αυξομειώνονται ανάλογα με την διακύμανση της παγκόσμιας αγοράς, και άρα είναι δύσκολο να προσδιοριστούν σε βάθος ετών. Για τις ανάγκες του μοντέλου που θα εξεταστεί στην παρούσα εργασία θεωρούμε την τιμή του εκάστοτε καυσίμου σταθερό.

Έχοντας την τιμή του καυσίμου, πρέπει να υπολογίσουμε την ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται από το κάθε σκάφος ξεχωριστά. Διαφορετικά σκάφη έχουν διαφορετικές καταναλώσεις είτε επειδή οι μηχανές του είναι περισσότερες είτε επειδή η κατανάλωσή τους, λόγω διαφορετικής τεχνολογίας, είναι μεγαλύτερη. Ταυτόχρονα, η κατανάλωση καυσίμου εξαρτάται από τις ώρες λειτουργίας των κινητήρων, ενώ παράλληλα έχουν άμεση σχέση και με τις καιρικές συνθήκες. Άρα, οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου είναι τρεις: το είδος της μηχανής, οι ώρες λειτουργίας και οι συνθήκες θαλάσσης.

3.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η αποστολή των σκαφών ενός σώματος ακτοφυλακής μπορεί να είναι:

- Η παροχή βοήθειας σε κινδυνεύοντα στη θάλασσα άτομα, πλοία, πλοiάρια, λέμβους ή άλλα θαλάσσια μέσα και αεροσκάφη.
- Η μεταφορά ατόμων που χρειάζονται άμεση βοήθεια (ασθενείς - τραυματίες) με τη συνοδεία ιατρού.

- Η διενέργεια νηοψιών
- Η ενεργοποίησή τους σε θέματα δημόσιας τάξης και κρατικής ασφάλειας
- Η πρόληψη ρύπανσης και η αντιμετώπισή της
- Οι αποστολές που αφορούν την εθνική άμυνα της χώρας
- Η πρόληψη και καταστολή κάθε παράνομης πράξης στον θαλάσσιο χώρο
- Ο έλεγχος συμμόρφωσης πλοίων σε θέματα ασφάλειας ναυσιπλοΐας

Με βάση την ανωτέρω λίστα αποστολών, κάθε σκάφος καλείται να εκτελέσει δύο βασικές λειτουργίες: α) Την θαλάσσια αστυνόμευση η οποία είναι προγραμματισμένη και γίνεται μέσω των περιπολιών, και β) την άμεση συνδρομή του σε ένα επείγον περιστατικό που είναι τυχαία και δεν δύναται να προγραμματιστεί.

3.2.1. Ορισμός της έννοιας των Περιπολιών

Κάθε σώμα ακτοφυλακής έχει ως αποστολή του να εποπτεύει και να ελέγχει τον θαλάσσιο χώρο δικαιοδοσίας του έτσι ώστε να εξασφαλίζει την νομιμότητα της θαλάσσιας κυκλοφορίας. Ευνόητο είναι ότι ο στόχος είναι να διενεργείται η θαλάσσια αστυνόμευση όσο το δυνατόν πληρέστερα. Για τον λόγο αυτό, οι αρμόδιες Υπηρεσίες, που εποπτεύουν το σύστημα κεντρικά, προσδιορίζουν το πόσο εντατικά θα πρέπει να γίνονται οι περιπολίες ούτως ώστε να διασφαλίζεται η εκπλήρωση του εν λόγω σκοπού. Λαμβάνοντας υπόψη τα περιστατικά που συντελούνται στην εκάστοτε περιοχή και την ανάγκη θαλάσσιας επιτήρησης, η κεντρική Υπηρεσία θέτει κάποιους στόχους στις υφιστάμενες περιφερειακές διοικήσεις οι οποίοι αφορούν την κάλυψη του θαλάσσιου χώρου από τα πλωτά μέσα υπαγωγής τους. Στην συνέχεια, η κάθε περιφερειακή διοίκηση ανάλογα με τον στόλο που έχει κάθε φορά στην διάθεσή της, προσπαθεί να επιτύχει αυτούς τους στόχους χρησιμοποιώντας όσο το δυνατόν καλύτερα τα σκάφη υπαγωγής της.

Στο μοντέλο μας, εξετάζουμε τον στόλο μίας περιφερειακής διοίκησης και θέτουμε ως στόχους τους κάτωθι:

Στόχος 1: Περιπολίες στον θαλάσσιο χώρο 24/7 από τέσσερα σκάφη ταυτόχρονα, δηλαδή συνέχεια τέσσερα σκάφη να περιπολούν, δηλαδή συνολικά τα σκάφη πρέπει να εκτελέσουν

$$4 \times 24 \text{ ώρες} \times 30 \text{ ημέρες} = 2880 \text{ ώρες} \text{ λειτουργίας} / \text{μήνα}$$

Στόχος 2: Περιπολίες στον θαλάσσιο χώρο 24/7 από δύο σκάφη ταυτόχρονα, δηλαδή συνέχεια δύο σκάφη να περιπολούν, δηλαδή συνολικά τα σκάφη πρέπει να εκτελέσουν $2 \times 24 \text{ ώρες} \times 30 \text{ ημέρες} = 1440 \text{ ώρες} \text{ λειτουργίας} / \text{μήνα}$

Στόχος 3: Περιπολίες στον θαλάσσιο χώρο 24/7 , δηλαδή συνέχεια, δηλαδή συνολικά τα σκάφη πρέπει να εκτελέσουν $24 \text{ ώρες} \times 30 \text{ ημέρες} = 720 \text{ ώρες} \text{ λειτουργίας} / \text{μήνα}$.

Στόχος 4: Περιπολίες στον θαλάσσιο χώρο 12/7, δηλαδή συνολικά τα σκάφη πρέπει να εκτελέσουν $12 \text{ ώρες} \times 30 \text{ ημέρες} = 360 \text{ ώρες} \text{ λειτουργίας} / \text{μήνα}$.

3.2.2. Ορισμός της έννοιας των Περιστατικών

Όπως εξηγήσαμε παραπάνω, αποστολή ενός σκάφους ακτοφυλακής είναι πέρα από τις θαλάσσιες περιπολίες, να βρίσκεται σε ετοιμότητα για την αντιμετώπιση οποιουδήποτε τυχαίου περιστατικού που μπορεί να συμβεί στη θάλασσα. Περιστατικά έρευνας και διάσωσης μπορούν να συμβούν οποτεδήποτε και χρήζουν άμεσης παροχής βοήθειας, γι' αυτό το λόγο τα περιπολικά σκάφη πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν ενεργά και σε ετοιμότητα για να παράξουν την συνδρομή που θα τους ζητηθεί.

Στην παρούσα μελέτη θεωρούμε πως όταν εμφανίζεται ένα περιστατικό, ένα πλωτό μέσο πρέπει να επιληφθεί. Δεν γίνεται κατηγοριοποίηση των περιστατικών ούτε δίνεται προτεραιότητα μεταξύ αυτών. Με την έννοια «Περιστατικό» εννοούμε στην πραγματικότητα οποιοδήποτε έκτακτο περιστατικό που άπτεται στην αποστολή ενός σκάφους ακτοφυλακής.

Κατόπιν των προρρηθέντων και για χάρη απλότητας, θεωρούμε στο μοντέλο μας ότι τα περιστατικά που χρήζουν αντιμετώπισης ανά μήνα καταναλώνουν συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας μηχανής των σκαφών. Έτσι θα εξεταστούν σενάρια για:

$$\alpha) 100 \frac{\text{ώρες λειτουργίας}}{\text{μήνα}} \quad \beta) 150 \frac{\text{ώρες λειτουργίας}}{\text{μήνα}} \quad \gamma) 200 \frac{\text{ώρες λειτουργίας}}{\text{μήνα}}$$

Στην πραγματικότητα υπάρχει κατηγοριοποίηση και υπάρχουν περιστατικά που μπορούν να περιμένουν έναντι άλλων, αλλά αυτό ξεφεύγει από τα όρια αυτής της εργασίας και αφήνεται για περαιτέρω έρευνα και μελέτη.

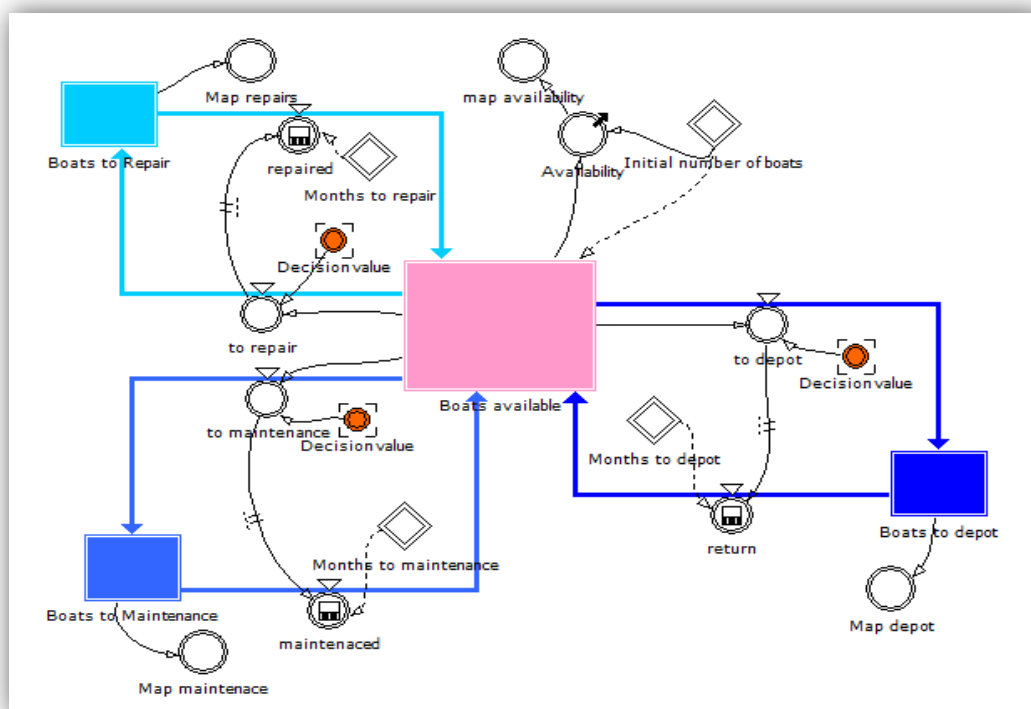
3.3 Δημιουργία μοντέλου H/Y

Η υλοποίηση του μοντέλου συστημικής δυναμικής που αναλύουμε σε αυτό το κεφάλαιο έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Powersim Studio 9. Όλα τα διαγράμματα έχουν παραχθεί από το ανωτέρω πρόγραμμα μοντελοποίησης.

3.3.1. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟΛΟΥ ΣΚΑΦΩΝ

Όπως περιγράφηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο στόλος σκαφών που θα προσομοιωθεί αποτελείται από δύο είδη σκαφών: τα τύπου A-1 και τα τύπου A-2, τα πρώτα είναι ποντοπόρα, δηλαδή μπορούν να ταξιδεύουν με δυσμενείς καιρικές συνθήκες, ενώ τα δεύτερα μπορούν να ταξιδέψουν μέχρι ορισμένα μποφόρ αέρα και ύψος κύματος.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα συσχετίσεων και αιτιότητας όσον αφορά τον στόλο σκαφών:



Σχήμα 4. Stock and Flow diagram: Στόλος σκαφών

Στο κέντρο του διαγράμματος απεικονίζεται το απόθεμα *Boats available* το οποίο συγκρατεί τον αριθμό των σκαφών που είναι ανά πάσα στιγμή διαθέσιμο. Η αρχική του τιμή καθορίζεται από την μεταβλητή *Initial number of boats*. Από τον στόλο σκαφών εκκινούν τρεις διαφορετικές ροές οι οποίες απεικονίζουν τους λόγους που ένα σκάφος μπορεί να μην είναι διαθέσιμο:

α) Όταν ένα σκάφος παύει να είναι διαθέσιμο λόγω της Εκτεταμένης Συντήρησης (Εργοστασιακό επίπεδο συντήρησης – Depot level Maintenance), τότε απορροφάται από την ροή *to depot*, εισέρχεται στο απόθεμα *Boats to depot* και παραμένει εκεί έως ότου η ροή *return* το επαναφέρει στο απόθεμα των διαθέσιμων σκαφών. Το χρονικό διάστημα που το σκάφος θα παραμείνει στο απόθεμα της εκτεταμένης συντήρησης (*Boats to depot*) καθορίζεται από την μεταβλητή *Months to depot*.

β) Αντίστοιχα, όταν ένα σκάφος παύει να είναι διαθέσιμο λόγω της Ενδιάμεσης Συντήρησης (Ενδιάμεσο επίπεδο συντήρησης – Intermediate level Maintenance), τότε απορροφάται από την ροή *to maintenance*, εισέρχεται στο απόθεμα *Boats to maintenance* και παραμένει εκεί έως ότου η ροή *maintenanced* το επαναφέρει στο απόθεμα των διαθέσιμων σκαφών. Το χρονικό διάστημα που το σκάφος θα παραμείνει στο απόθεμα της ενδιάμεσης συντήρησης (*Boats to maintenance*) καθορίζεται από την μεταβλητή *Months to maintenance*.

γ) Τέλος, όταν ένα σκάφος παρουσιάσει μία βλάβη και χρειάζεται επισκευή, τότε απορροφάται από την ροή *to repair*, εισέρχεται στο απόθεμα *Boats to repair* και παραμένει εκεί έως ότου η ροή *repaired*, το επαναφέρει στο απόθεμα των διαθέσιμων σκαφών. Το χρονικό διάστημα που το σκάφος θα παραμείνει στο απόθεμα της επισκευής βλαβών (*Boats to repair*) καθορίζεται από την μεταβλητή *Months to repair*.

Όταν λοιπόν, ένα σκάφος εισέρχεται σε οποιαδήποτε από τις ανωτέρω τρεις ροές, καθίσταται μη διαθέσιμο και έτσι μειώνεται το απόθεμα των διαθέσιμων σκαφών:

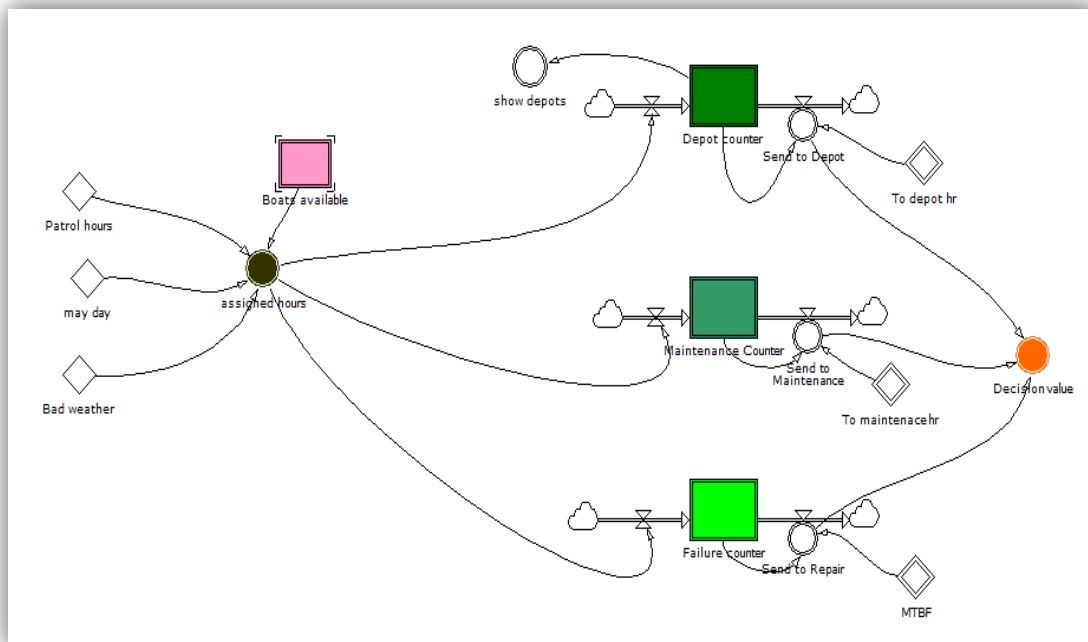
Boats available =

Initial number of boats – *Boats to depot* – *Boats to maintenance* – *Boats to repair*

Η μεταβλητή *Decision value* προέρχεται από το διάγραμμα ροής και αποθέματος περιστατικών και περιπολιών. Πιο συγκεκριμένα, είναι εκείνη η οποία ενημερώνει το σύστημα για την χρονική στιγμή που ένα σκάφος χρειάζεται ενδιάμεση ή εργοστασιακή συντήρηση ή έχει προκληθεί σε αυτό κάποια ζημιά που χρήζει επισκευής.

3.3.2. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η επιχειρησιακή λειτουργία κάθε σκάφους εξαρτάται από την πολιτική των περιπολιών, τις καιρικές συνθήκες αλλά και τα επείγοντα περιστατικά που προκύπτουν. Το κάθε σκάφος, συμπληρώνει σύμφωνα με τις παραπάνω τρεις μεταβλητές, τις ώρες λειτουργίας του. Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τις ροές και αποθέματα της επιχειρησιακής λειτουργίας



Σχήμα 5. Stock and Flow diagram: Επιχειρησιακή λειτουργία

Οι μεταβλητές των ωρών περιπολίας *Patrol hours*, έκτακτων περιστατικών *may day* και οι καιρικές συνθήκες *Bad weather* συνδέονται στην συνάρτηση *assigned hours*. Η τελευταία καθορίζει, ανάλογα με το πόσα σκάφη είναι διαθέσιμα *Boats available*, πως θα κατανεμηθούν οι ώρες λειτουργίας ανά σκάφος.

* Θεωρούμε ότι όταν ένα σκάφος του στόλου είναι μη επιχειρησιακό τότε οι ώρες λειτουργίας του κατανέμονται ισόποσα στα σκάφη που είναι ενεργά.

Τα αποτελέσματα της συνάρτησης *assigned hours* εισέρχονται ως ροή σε τρία διαφορετικά αποθέματα – μετρητές:

α) Depot counter: Το απόθεμα (μετρητής) των ωρών μέχρι την επόμενη εργοστασιακού επιπέδου συντήρηση κάθε σκάφους.

β) Maintenance counter: Το απόθεμα (μετρητής) των ωρών μέχρι την επόμενη ενδιάμεσου επιπέδου συντήρηση κάθε σκάφους.

γ) Failure counter: Το απόθεμα (μετρητής) των ωρών μέχρι την στατιστικά επόμενη δυσλειτουργία κάθε σκάφους.

Τα τρία ανωτέρω αποθέματα (μετρητές) μηδενίζονται κάθε φορά που το σκάφος συμπληρώσει τις ώρες λειτουργίας και χρήζει συντήρησης ή επισκευής. Οι εξερχόμενες ροές

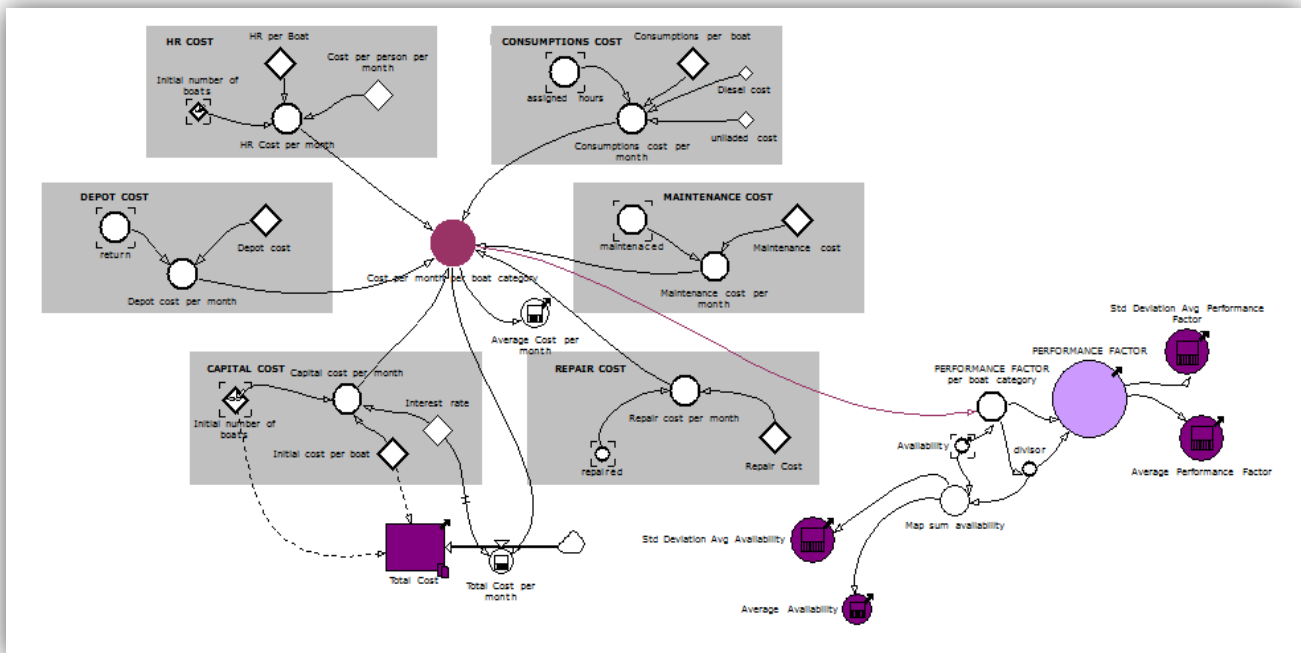
Send to Depot , *Send to Maintenance* και *Send to Repair* εκτελούν ακριβώς αυτήν την λειτουργία, δηλαδή μηδενίζουν τα αποθέματα μόλις αυτό απαιτηθεί. Οι καθοριζόμενες ώρες που κάθε σκάφος απενεργοποιείται λόγω συντήρησης ή βλάβης καθορίζονται από τις μεταβλητές *To depot hr*, *To maintenance hr* και *MTBF*. (Η τελευταία μεταβλητή σημαίνει Mean Time Between Failures και έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο)

Στο τέλος, η συνάρτηση η οποία αποφασίζει σε ποιο στάδιο συντήρησης θα παραπεμφθεί το σκάφος είναι η *Decision value*. Η λειτουργία της συνάρτησης αυτής είναι ουσιαστικά η απόφαση για το αν ένα σκάφος συμπληρώσει ταυτόχρονα τις ώρες για εργοστασιακή συντήρηση ή/και ενδιάμεση συντήρηση ή/και για επισκευή, ποιο επίπεδο θα επιλεγεί. Με αυτόν τον τρόπο θέτουμε τις εξής παραδοχές:

1. Όταν ένα σκάφος συμπληρώσει τις ώρες για εργοστασιακού επιπέδου συντήρηση και ταυτόχρονα για ενδιάμεση συντήρηση ή και επισκευή, τότε θα προτιμηθεί η εργοστασιακού επιπέδου συντήρηση και θα μηδενιστούν τα άλλα δύο αποθέματα. Η συγκεκριμένη παραδοχή είναι εύλογη λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτού του επιπέδου συντήρηση σκοπό έχει την επαναφορά της μηχανής του σκάφους στην πρότερή του κατάσταση και εμπεριέχει την ενδιάμεση συντήρηση αλλά και την επισκευή της οποιαδήποτε βλάβης.
2. Όταν ένα σκάφος συμπληρώσει τις ώρες για ενδιάμεσου επιπέδου συντήρηση αλλά ταυτόχρονα παρουσιάσει και βλάβη, τότε θα προτιμηθεί η συντήρηση και θα μηδενιστεί και το απόθεμα βλαβών μαζί με το απόθεμα ενδιάμεσης συντήρησης. Βάσιμη παραδοχή και αυτή καθόσον η ενδιάμεση συντήρηση εμπεριέχει την επισκευή βλαβών που έχουν παρουσιασθεί.
3. Όταν ένα σκάφος παρουσιάσει μόνο βλάβη, τότε γίνεται επισκευή αυτού χωρίς να επηρεαστούν οι μετρητές (αποθέματα) συντήρησης.

Το αποτέλεσμα της συνάρτησης *assigned value*, μεταφέρει στο διάγραμμα αποθέματος και ροής του στόλου σκαφών την πληροφορία σχετικά με τον καθορισμό ενός σκάφους ως μη διαθέσιμο.

3.3.3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ



Σχήμα 6. Stock and Flow diagram: Κόστος

Το συνολικό κόστος λειτουργίας του στόλου, όπως έχει περιγραφεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να διακριθεί σε πέντε επιμέρους κατηγορίες: **1. Κόστος καταναλώσεων (CONSUMPTIONS COST)**, **2. Κόστος προσωπικού που στελεγχώνουν τα σκάφη (HR COST)**, **3. Κόστος εργοστασιακού επιπέδου συντήρησης (DEPOT COST)**, **4. Κόστος ενδιάμεσου επιπέδου συντήρησης (MAINTENANCE COST)** και **5. Κόστος επισκευής βλαβών (REPAIR COST)**. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και στο διάγραμμα 3, είναι διακριτό το πώς υπολογίζεται το κόστος ανά κατηγορία.

Ειδικότερα, το κόστος ανά κατηγορία υπολογίζεται ως κάτωθι:

1. Κόστος καταναλώσεων CONSUMPTIONS COST

Οι καταναλώσεις καυσίμων κάθε σκάφους σε μηνιαία βάση (*Consumptions cost per month*) υπολογίζονται βάση των ωρών λειτουργίας του σκάφους ανά μήνα (*assigned hours*) σε συνδυασμό με την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνει κάθε σκάφος ανά ώρα λειτουργίας (*consumptions per boat*), η οποία αποτελεί την μέση τιμή και δίδεται από τον κατασκευαστή, αλλά και την τιμή του καυσίμου που καταναλώνεται. Κάποια σκάφη χρησιμοποιούν αμόλυβδη βενζίνη και άλλα πετρέλαιο για την λειτουργία τους και έτσι

διακρίνουμε τις τιμές *unleaded cost* και *diesel cost*. Η τιμή των καταναλώσεων ανά σκάφος ανά μήνα δίνεται από την εξίσωση:

Consumptions cost per month

$$= \text{assigned hours} * \text{consumptions per boat} * \text{combustible cost}$$

, όπου *combustible cost* το κόστος βενζίνης (*unleaded cost*) ή πετρελαίου (*diesel cost*), αναλόγως του σκάφους.

* Στο μοντέλο μας θεωρούμε ότι τα σκάφη τύπου A1 έχουν πετρελαιοκινητήρες, ενώ τα σκάφη τύπου A2 έχουν βενζινοκινητήρες.

2. Κόστος στελέχωσης σκαφών HR COST

Το κόστος στελέχωσης του στόλου σκαφών (*HR cost per month*) υπολογίζεται βάσει του αριθμού του προσωπικού που στελεχώνει το κάθε σκάφος (*HR per boat*), τις μηνιαίες αποδοχές κάθε στελέχους (*HR cost per person per month*) και τον αρχικό αριθμό των σκαφών (*initial number of boats*). Επισημαίνεται ότι ακόμη και στην περίπτωση που το σκάφος είναι ανενεργό, το προσωπικό αυτού παραμένει ενεργό και διατίθεται είτε σαν συμπληρωματικό πλήρωμα σε άλλο σκάφος είτε βοηθάει στις διαδικασίες συντήρησης και επισκευής. Η συνάρτηση που περιγράφει τον υπολογισμό του κόστους αυτής της κατηγορίας περιγράφεται ως κάτωθι:

HR cost per month =

$$\text{Initial number of boats} * \text{HR per boat} * \text{HR cost per person per boat}$$

3. Κόστος εργοστασιακού επιπέδου συντήρησης DEPOT COST

Το κόστος της εργοστασιακού επιπέδου συντήρησης ανά μήνα (*Depot cost per month*) υπολογίζεται και είναι μετρήσιμο όταν ένα σκάφος έχει ήδη ολοκληρώσει την διαδικασία συντήρησης και επιστρέφει στην ενεργή λειτουργία (*return*). Η κάθε κατηγορία και τύπος σκάφους έχει διαφορετικό κόστος εργοστασιακής συντήρησης (*Depot cost*), το οποίο καθορίζεται από τις τιμές της αγοράς και τον κατασκευαστή. Για χάρη απλότητας θεωρούμε ότι το κόστος παραμένει σταθερό για την συντήρηση του κάθε σκάφους.

$$\text{Depot cost per month} = \text{return} * \text{Depot cost}$$

4. Κόστος ενδιάμεσου επιπέδου συντήρησης MAINTENANCE COST

Αντίστοιχα, το κόστος ενδιάμεσου επιπέδου συντήρησης (*Maintenance cost per month*) υπολογίζεται και είναι μετρήσιμο όταν ένα σκάφος έχει ήδη ολοκληρώσει την διαδικασία αυτού του επιπέδου συντήρησης και επιστρέφει στην ενεργή λειτουργία (*maintenanced*). Η κάθε κατηγορία και τύπος σκάφους έχει διαφορετικό κόστος ενδιάμεσης συντήρησης (*Maintenance cost*), το οποίο καθορίζεται από τις τιμές της αγοράς και το κόστος των ανταλλακτικών. Και σε αυτήν την περίπτωση θεωρούμε το κόστος ενδιάμεσης συντήρησης σταθερό.

$$\text{Maintenance cost per month} = \text{maintenanced} * \text{Maintenance cost}$$

5. Κόστος επισκευής βλαβών REPAIR COST

Το κόστος επισκευής βλαβών ανά μήνα (*Repair cost per month*) είναι μετρήσιμο κάθε φορά που ολοκληρώνεται η διαδικασία επισκευής της εκάστοτε βλάβης και το σκάφος επιστρέφει στην ενεργή λειτουργία (*repaired*). Το κόστος επισκευής μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την βλάβη, το είδος των ανταλλακτικών που χρειάζονται αλλά και το προσωπικό που θα χρειαστεί (*Repair cost*). Για χάρη απλότητας θεωρούμε το κόστος επισκευής για κάθε σκάφος σταθερό και ίσο με την μέση τιμή των διαφόρων τύπων βλαβών που μπορεί να προκύψουν.

$$\text{Repair cost per month} = \text{repaired} * \text{Repair cost}$$

6. Κόστος κεφαλαίου CAPITAL COST

Το κόστος κεφαλαίου (*capital cost*) είναι το κόστος ευκαιρίας που ενέχει η επένδυση. Υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το αρχικό κόστος επένδυσης για την αγορά του στόλου με το ετήσιο επιτόκιο.

$$\begin{aligned} & \text{Capital Cost per month} \\ &= \text{Initial cost per boat} * \text{Initial number of boats} * \text{Interest rate} \end{aligned}$$

Το interest rate για τις ανάγκες της παρούσας θεωρούμε ότι είναι 5%

7. Μηνιαίο κόστος Total cost per boat category

Προσθέτοντας όλα τα επί μέρους κόστη, όπως αναλύθηκαν παραπάνω, μπορούμε να υπολογίσουμε το μηνιαίο κόστος λειτουργίας του στόλου σκαφών:

Total cost per boat category

$$= \text{Consumptions cost per month} + \text{HR cost per month} \\ + \text{Depot cost per month} + \text{Maintenance cost per month} \\ + \text{Repair cost per month}$$

8. Συνολικό κόστος *TOTAL COST*

Το συνολικό κόστος (*TOTAL COST*) είναι η συνολική δαπάνη για την περίοδο της προσομοίωσης, που θα δαπανήσει η Ακτοφυλακή για την αγορά, λειτουργία και συντήρηση των σκαφών. Πρόκειται για την συσσώρευση των μηνιαίων δαπανών τα οποία προστίθενται στο αρχικό κεφάλαιο, που δεν είναι άλλο από το κόστος αγοράς του στόλου.

9. Συντελεστής απόδοσης *Performance Factor*

Έχοντας υπολογίσει το συνολικό κόστος ανά μήνα και ανά κατηγορία σκάφους, μπορούμε να υπολογίσουμε ένα μέγεθος που θα βοηθήσει στην ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται *Performance factor*, υπολογίζει την απόδοση του συστήματος και είναι ανάλογο της διαθεσιμότητας σκαφών δια του κόστους.

$$\text{Performance factor} = \frac{\text{Availability}}{\text{Total cost per month}}$$

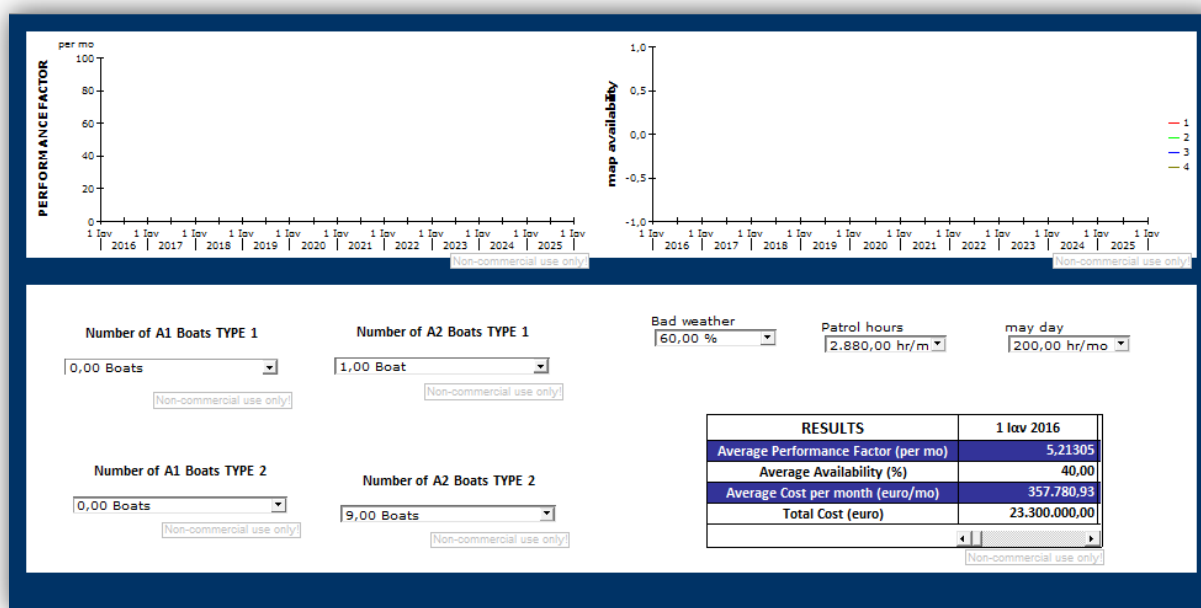
, όπου $\text{Availability} = \frac{\text{Boats available}}{\text{Initial number of boats}}$, δηλαδή τα διαθέσιμα σκάφη ανά μήνα διά τον αρχικό αριθμό των σκαφών του στόλου.

Για την βοήθεια του ορθού υπολογισμού αυτού του μεγέθους, καθότι έχει σημαντικό ρόλο στην ανάλυση των συμπερασμάτων, χρησιμοποιούνται βοηθητικά οι μεταβλητές *divisor* και *PERFORMANCE FACTOR per boat category* και σκοπός τους είναι η βοήθεια για τον ορθό υπολογισμό ακόμη και στις ακραίες περιπτώσεις όπου θέλουμε να εξετάσουμε την απόδοση του στόλου χρησιμοποιώντας μόνο έναν τύπο σκάφους. Επισημαίνεται ότι ο εν προκειμένω συντελεστής υπολογίζεται σωρευτικά για τον στόλο σκαφών που εξετάζουμε κατά περίπτωση.

Για την βοήθεια εκτίμησης των αποτελεσμάτων επίσης χρησιμοποιούμε, το μέσο συντελεστή απόδοσης (*Average Performance Factor*), ο οποίος είναι η μέση τιμή του συντελεστή, τη διακύμανση του συντελεστή απόδοσης (*Standard Deviation Performance Factor*) η οποία είναι η διακύμανση της τιμής του καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και αντίστοιχα, τη μέση διαθεσιμότητα (*Average Availability*) και διακύμανση της διαθεσιμότητας (*Standard Deviation Availability*).

3.3.4. ΔΙΕΠΑΦΗ ΧΡΗΣΤΗ

Όπως σε κάθε πρόγραμμα, για την διευκόλυνση του προγραμματιστή αλλά και τη δυνατότητα χρήσης του από τον οποιοδήποτε χρήστη, έχει σχεδιαστεί μία επιφάνεια διεπαφής χρήστη. Με την συγκεκριμένη επιφάνεια, παρέχεται η δυνατότητα μεταβολής βασικών παραμέτρων του μοντέλου όπως ο αρχικός αριθμός του στόλου σκαφών, οι ώρες περιπολίας, το ποσοστό κακοκαιρίας και ο αριθμός ωρών επειγόντων περιστατικών.



Σχήμα 7. Διεπαφή Χρήστη

Η διεπαφή έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να εμφανίζονται τα απαραίτητα για την αξιολόγηση του συστήματος γραφήματα, απευθείας στην οθόνη. Ο συντελεστής *PERFORMANCE FACTOR*, όπως περιγράφηκε αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο, εμφανίζει τα αποτελέσματα της επίδοσης της εκτελούμενης προσομοίωσης. Επίσης, ο δείκτης της διαθεσιμότητας (*availability*) ανά τύπο σκάφους συναρτήσει του χρόνου της προσομοίωσης είναι εξίσου σημαντικός για την ανάλυση και εμφανίζεται και αυτός με τη

μορφή γραφήματος στην διεπαφή. Επιπροσθέτως, στον πίνακα κάτω δεξιά, εμφανίζονται οι μέσες τιμές των σημαντικών συντελεστών (*Average Performance Factor, Average Availability, Average Cost per month*) καθώς και το συνολικό κόστος (*Total Cost*).

Το πεδίο *Number of A1 Boats TYPE 1* δίνει την δυνατότητα επιλογής του αριθμού σκαφών κατηγορίας A1 και τύπου 1. Το αναπτυσσόμενο μενού (drop down menu) που εμφανίζεται περιέχει την επιλογή από 0 έως και 10 σκάφη αυτού του τύπου. Αντίστοιχα και το πεδίο *Number of A1 Boats TYPE 2* δίνει τη δυνατότητα επιλογής 0 έως και 10 σκαφών κατηγορίας A1 και τύπου 2. Αναλόγως λειτουργούν και τα αναπτυσσόμενα μενού *Number of A2 Boats TYPE 1* και *Number of A2 Boats TYPE 2*, δίνοντας δυνατότητα επιλογής από 0 έως και 10 σκάφη για κάθε τύπο της A2 κατηγορίας.

Το πεδίο *Bad weather* σκοπό έχει την μοντελοποίηση και συλλογή αποτελεσμάτων με διαφορετικά ποσοστά κακοκαιρίας. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το ποσοστό το οποίο αναπαριστά η συγκεκριμένη μεταβλητή είναι οι καιρικές συνθήκες που δεν μπορούν να επιτρέψουν τον απόπλου σε ένα σκάφος τύπου A2. Δηλαδή, όταν για παράδειγμα το ποσοστό κακοκαιρίας είναι 40%, τότε για το 40% του συνολικού χρόνου προσομοίωσης, τα σκάφη τύπου A2 δεν είναι ενεργά και άρα δεν μπορούν να καταγράψουν ώρες λειτουργίας, σε αντίθεση με τα τύπου A1, τα οποία επωμίζονται τις υπολειπόμενες ώρες λειτουργίας λόγω καιρικών συνθηκών των πρώτων.

Με το συγκεκριμένο λοιπόν πτυσσόμενο μενού μπορούμε να προσομοιώσουμε μοντέλο με ποσοστό κακοκαιρίας από 0% έως και 100%. Είναι ευνόητο ότι οι ακραίες τιμές δεν αναπαριστούν την πραγματικότητα και η δυνατότητα επιλογής τους είναι για διαγνωστικούς και μόνο σκοπούς.

Το αναπτυσσόμενο μενού *Patrol hours* παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να αλλάξει την συχνότητα των περιπολιών των σκαφών στις τρεις περιπτώσεις που περιγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να επιλέξει τέσσερις διαφορετικούς χρόνους περιπολίας, 2880 hr/mo, 1440 hr/mo, 720 hr/mo και 360 hr/mo. Η κάθε μία επιλογή αναπαριστά περιπολίες 24/7 (δηλαδή 24 ώρες κάθε μέρα) για τέσσερα σκάφη, 24/7 για δύο σκάφη, 24/7 (δηλαδή 24 ώρες κάθε μέρα) για ένα σκάφος και τέλος 12 ώρες την κάθε ημέρα αντίστοιχα και οι οποίες κατανέμονται ισόποσα σε όλα τα σκάφη του στόλου.

Τέλος, η επιλογή *may day* αναπαριστά το σύνολο των ωρών λειτουργίας λόγω επειγόντων περιστατικών. Οι επιλογές είναι από 100 ώρες ανά μήνα (hr/mo) έως και 200 ώρες ανά μήνα (hr/mo).

3.3.5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΡΧΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΦΥΛΛΑ (EXCEL)

Για την καλύτερη καταγραφή και διαχείριση των αποτελεσμάτων, το πρόγραμμα προσομοίωσης Powersim Studio, παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής τιμών στις μεταβλητές καθώς και εξαγωγής αποτελεσμάτων κρίσιμων μεταβλητών του μοντέλου με τη βοήθεια υπολογιστικού φύλλου Microsoft Excel. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν χρειάζεται η καταγραφή των αποτελεσμάτων αναλυτικά έτσι ώστε να είναι συγκρίσιμα αλλά και κάθε φορά που χρειάζεται η αλλαγή των αρχικών παραμέτρων του μοντέλου.

_ELL_INITIAL NUMBER OF BOATS				_ELL_PATROL HOURS	_ELL_WEATHER CONDITIONS	_ELL_MAY DAY	_ELL_TOTAL COST	_ELL_AVERAGE AVAILABILITY	_ELL_Std Dvt Availability	_ELL_AVERAGE PERFORMANCE FACTOR	_ELL_Std Dvt Performance Factor	_ELL_Avg Cost per month
1.1	1.2	2.1	2.2									
0	0	9	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	2391866756 euro	39,10009183	1,35755086	4,350690095	1,57381314	385199,7939 euro
0	0	1	8	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	2436590797	39,3204775	1,100703329	4,010152341	1,615093158	391608,2656
0	1	1	8	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	4483586609	52,41046832	11,65081649	3,841792112	1,307289927	722547,449
1	0	1	8	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	4222284215	52,58264463	11,8008833	3,953496941	1,288844944	677665,6309
1	0	8	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	4271946199	53,03030303	11,96681975	3,818714359	1,210846995	687909,1846
1	1	1	7	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	5874832057	60,99960645	13,6566749	4,031656476	1,089549105	960891,2287
1	1	7	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	5913053972	61,12554113	12,59613805	3,614001753	1,191104733	964815,7477
0	2	1	7	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6351051056	47,73711137	9,631286705	3,288636323	1,212059481	1031350,65
2	0	1	7	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6172361686	50,17906336	10,88003246	3,377554511	1,177150379	1009307,675
0	2	7	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6389272972	48,29004329	9,917908585	2,98750887	1,221750455	1035185,169
2	1	1	6	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6878641605	59,20110193	11,3999739	3,56544882	0,93428839	1103055,661
2	0	7	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6210583602	50,67689886	10,37268681	3,07490937	1,164490848	1013142,194
1	2	1	6	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	7240281627	58,14738292	10,73291076	3,626107329	0,951449912	1182517,644
3	0	1	6	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6843094456	60,03673095	11,71079928	3,376861267	0,812288275	1097979,512
1	2	6	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	7204734477	58,60422406	11,26520007	3,29691461	0,942125316	1177441,495
7	1	1	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	8577677097	76,02518693	13,65280542	3,629908087	0,803598713	1396263,592
3	1	1	5	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6816166370	61,96235078	10,51673354	3,42222787	0,830528645	1117082,932
0	3	1	6	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6678925351	50,0509642	8,064189021	3,08132911	1,04342947	1094857,313
3	0	1	6	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6151834946	51,89164371	7,832868814	3,154714304	1,141866436	1006882,933
0	8	1	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	7792966625	69,23209366	15,28595735	2,517650139	1,070437695	1267428,386
1	3	1	5	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	7311783087	60,84481175	10,60518976	3,440398073	0,843961159	1185747,395
8	0	1	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	8227913043	69,6969697	15,8551947	2,492103727	1,071699897	1331331,278
1	7	1	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	8156711025	75,97402597	13,07172946	3,690708301	0,741297619	1329782,105
3	1	5	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6844211189	62,05417815	9,475556336	3,312392317	0,782766861	1118049,874
0	3	6	1	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6643378201	50,62442608	8,380664559	2,786719244	1,017978687	1089781,165
4	1	1	5	2880 hr/mo	60 %	200 hr/mo	6274839020	54,69834711	6,869280376	2,895146143	1,026688831	1028102,767

Σχήμα 8. Εισαγωγή Δεδομένων - Εξαγωγή Αποτελεσμάτων σε φύλλο Excel

Οι στήλες κόκκινου χρώματος αναπαριστούν τις τιμές που εισάγονται στο πρόγραμμα προσομοίωσης και οι στήλες μπλε χρώματος αναπαριστούν τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από το πρόγραμμα.

Οι στήλες Α έως Δ είναι ο αριθμός των σκαφών ανά κατηγορία και ανά τύπο που έχουν επιλεγεί για εξέταση. Έτσι, η στήλη Α αναπαριστά τον αριθμό σκαφών κατηγορίας Α1 και τύπου 1 (*Initial number of Boats[1, 1]*), η στήλη Β είναι ο αριθμός σκαφών κατηγορίας Α1 και τύπου 2 (*Initial number of Boats[1, 2]*), η στήλη Γ είναι ο αριθμός σκαφών κατηγορίας Α2 τύπου 1 (*Initial number of Boats[2, 1]*), και αντίστοιχα η στήλη Δ είναι ο αριθμός σκαφών κατηγορίας Α2 τύπου 2 (*Initial number of Boats[2, 2]*).

Η στήλη Ε αναπαριστά τις ώρες περιπολίας (*Patrol Hours*), όπως περιγράφηκαν και ανωτέρω, σε ώρες ανά μήνα (hr/mo). Η στήλη F είναι το ποσοστό κακοκαιρίας με το οποίο ο χρήστης θέλει να προσομοιώσει το μοντέλο και τέλος η στήλη Γ είναι οι ώρες έκτακτων περιστατικών (*May Day*).

Με αυτόν τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται η προσομοίωση για διάφορα σενάρια σε πολύ μικρό χρόνο καθώς δεν χρειάζεται να εισάγονται χειρωνακτικά οι μεταβλητές εισόδου του συστήματος σε κάθε αλλαγή σεναρίου. Παράλληλα, στις μπλε στήλες καταγράφονται οι βασικότερες μεταβλητές εξόδου του μοντέλου. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα άμεσης σύγκρισης των διάφορων σεναρίων και εξάγονται κατ' αυτόν τον τρόπο συμπεράσματα για την κάθε πολιτική.

Στην στήλη Η καταγράφεται το συνολικό κόστος (*Total Cost*) για τις αντίστοιχες παραμέτρους σεναρίου που τέθηκαν στις κόκκινες στήλες. Στην στήλη Ι καταγράφεται η μέση διαθεσιμότητα (*Average Availability*), στην στήλη J καταγράφεται η διακύμανση της διαθεσιμότητας (*Standard Deviation Availability*), στην στήλη Κ καταγράφεται ο μέσος συντελεστής απόδοσης (*Average Performance Factor*), στην στήλη L η διακύμανση του συντελεστή (*Standard Deviation Performance Factor*) και τέλος στην στήλη Μ καταγράφεται το μέσο κόστος ανά μήνα (*Average Cost per month*).

Με τα αποτελέσματα καταγεγραμμένα σε υπολογιστικό φύλλο δύναται η απευθείας επεξεργασία τους για τον υπολογισμό στατιστικών στοιχείων όπως τα μέγιστα και τα ελάχιστα ή η μέση τιμή καθώς επίσης και η δημιουργία διαγραμμάτων.

Ένα προνόμιο που επίσης παρέχεται με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε μορφή υπολογιστικού φύλλου Excel είναι η διευκόλυνση του απλού χρήστη στην εξαγωγή συμπερασμάτων και στατιστικών στοιχείων καθώς αποτελεί εφαρμογή η οποία είναι ευρέως γνωστή, φιλική και δεν απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις για την χρήση της.

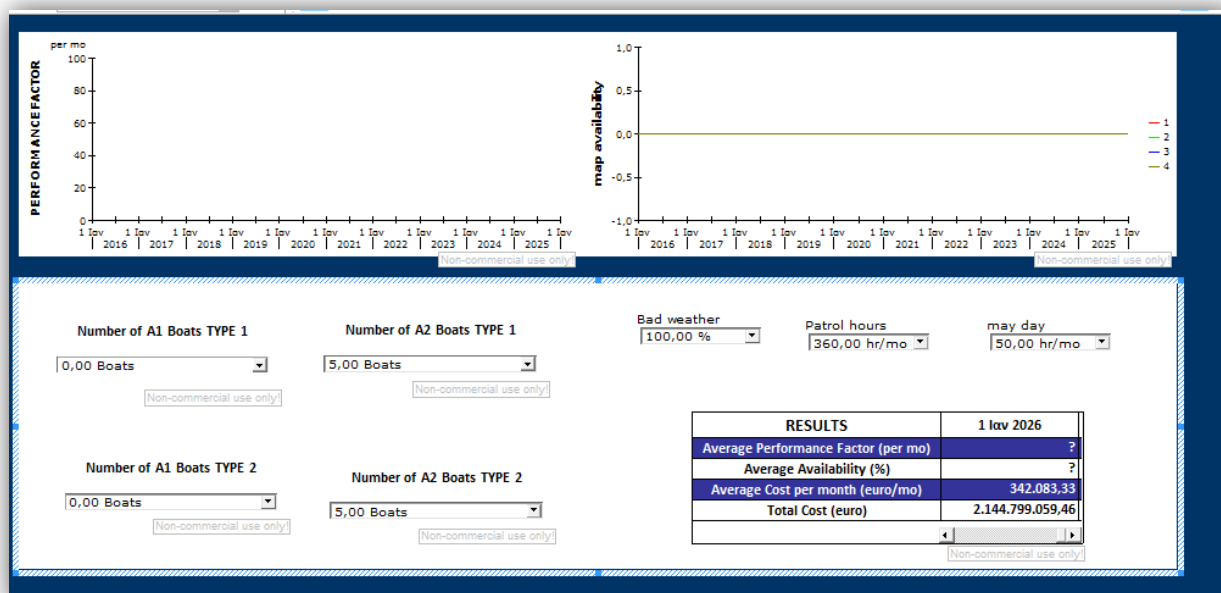
Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα - Ανάλυση

4.1 Πραγματοποίηση δοκιμών – Επικύρωση του Μοντέλου

Πριν την διαδικασία σχεδιασμού πειραμάτων και εκτέλεσης προσομοιώσεων πρέπει να πρώτα να εξεταστεί η επικύρωση του μοντέλου σύμφωνα με το διάγραμμα ροής της διαδικασίας μελέτης προσομοίωσης. Οι δοκιμές, καθότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία αναφορικά με την διαθεσιμότητα και το μέσο κόστος του στόλου, θα γίνουν με την μελέτη ακραίων περιπτώσεων έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι οι αρχικές απαιτήσεις του μοντέλου επαληθεύονται.

Σύμφωνα με τις παραδοχές του μοντέλου τα σκάφη κατηγορίας A2, δεν μπορούν να δραστηριοποιηθούν με καιρικές συνθήκες μεγαλύτερες των 8 Beaufort, έτσι πραγματοποιώντας μια προσομοίωση με τα σκάφη του στόλου να είναι μόνο κατηγορίας A2 και 100% κακές καιρικές συνθήκες (Bad weather = 100%) τότε τα αποτελέσματα που θα ληφθούν ως προς την διαθεσιμότητα, πρέπει να είναι μηδενικά.

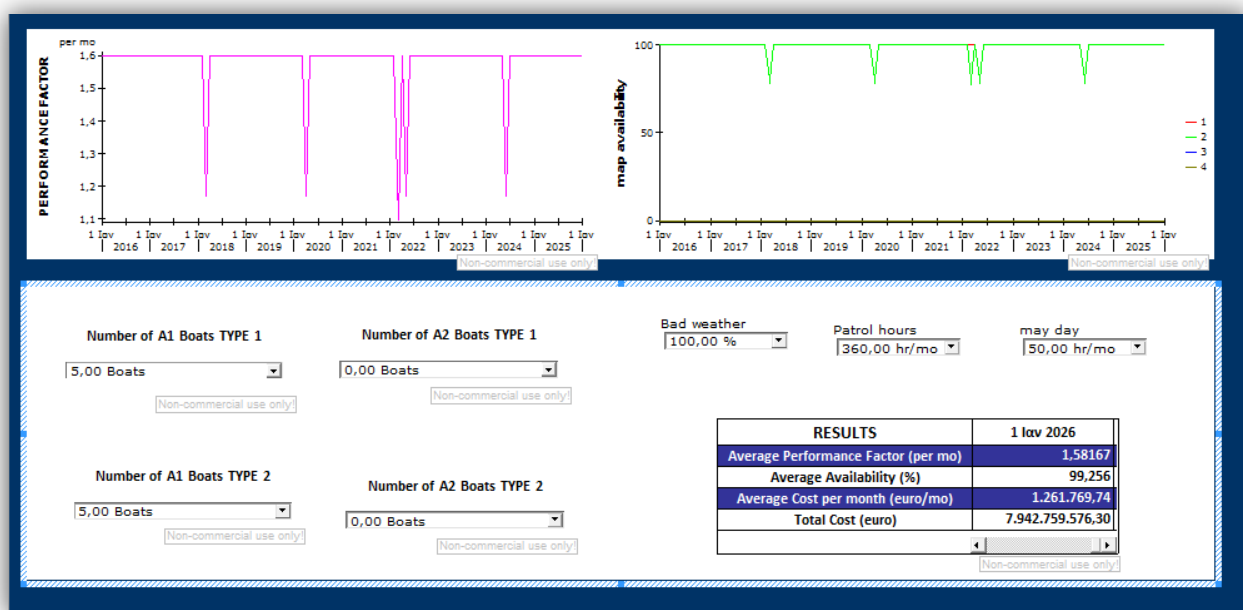


Σχήμα 9. Πρώτη Δοκιμή μοντέλου

Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα του συντελεστή απόδοσης και της διαθεσιμότητας ανά σκάφος, με 10 σκάφη αποκλειστικά κατηγορίας A2 και καιρικές συνθήκες 100%, δεν λαμβάνονται αποτελέσματα για τον συντελεστή απόδοσης αλλά ούτε για την διαθεσιμότητα,

καθώς οι δύο αυτές τιμές είναι μηδενικές. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αρκετά ενθαρρυντικό καθώς εξυπηρετεί τις αρχικές παραδοχές του μοντέλου. Ωστόσο, το συνολικό κόστος αλλά και το μέσο κόστος ανά μήνα δεν είναι μηδενικό καθώς εμπεριέχει το κόστος αγοράς του στόλου, το κόστος κεφαλαίου καθώς και το κόστος στελέχωσης των σκαφών.

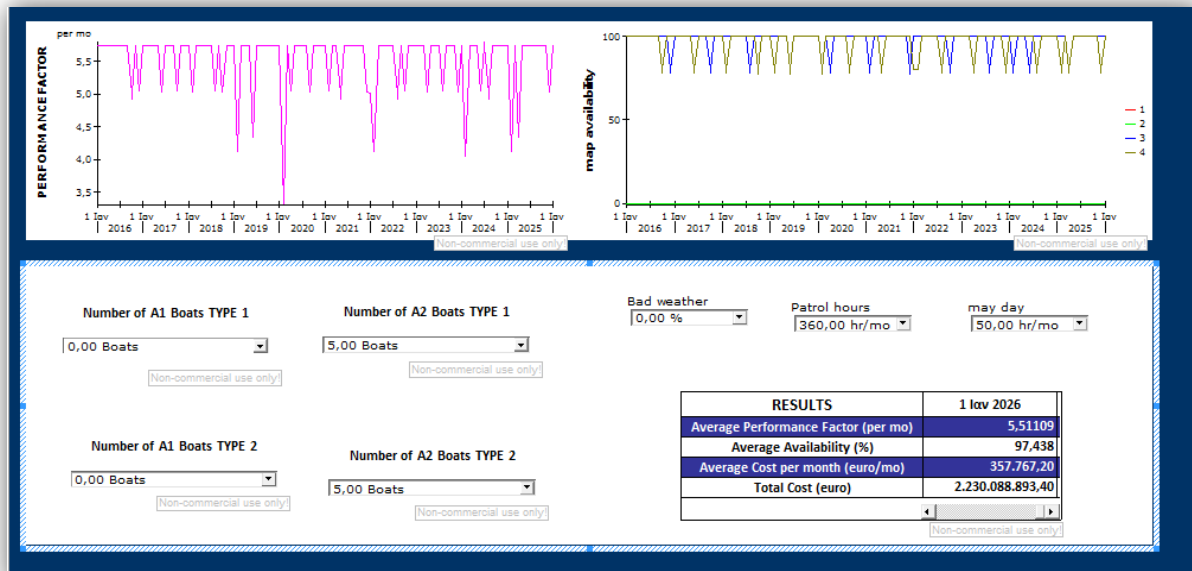
Αντίστοιχα, εάν πραγματοποιηθεί επαλήθευση για το ίδιο μοντέλο με 100% καιρικές συνθήκες αλλά διαφοροποιώντας το στόλο από σκάφη κατηγορίας A2 σε σκάφη κατηγορίας A1, τότε θα πρέπει τα λαμβάνονται κανονικά αποτελέσματα καθώς αυτό επαληθεύει την παραδοχή ότι τα σκάφη κατηγορίας A1 δεν επηρεάζονται από τις κακές συνθήκες.



Σχήμα 10. Δεύτερη δοκιμή μοντέλου

Σε αυτή την περίπτωση λαμβάνονται κανονικά αποτελέσματα και για τον συντελεστή απόδοσης αλλά και την διαθεσιμότητα. Ωστόσο, όπως παρατηρείται, το κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο.

Τέλος, πραγματοποιώντας την προσομοίωση της πρώτης δοκιμής, δηλαδή στόλο 10 σκαφών αποτελούμενο από σκάφη αποκλειστικά κατηγορίας A2 αλλά με 0% καιρικές συνθήκες αναμένεται επίσης η λήψη αποτελεσμάτων τα οποία να είναι καλύτερα από τα προηγούμενα, καθώς τα σκάφη κατηγορίας A1 θεωρούμε ότι κοστίζουν περισσότερο.



Σχήμα 1 . Τρίτη δοκιμή μοντέλου

Όπως ήταν αναμενόμενο, ένας στόλος αποτελούμενος μόνο από σκάφη κατηγορίας A2 έχει πολύ χαμηλότερο κόστος αλλά ταυτόχρονα και μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης όταν οι κακές καιρικές συνθήκες είναι μηδενικές.

Από τις ανωτέρω δοκιμές διαπιστώνεται ότι το μοντέλο παρέχει αποτελέσματα τα οποία επαληθεύουν τις αρχικές παραδοχές που τέθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Όπως διευκρινίστηκε άλλωστε, στην παρούσα μελέτη δεν τέθηκαν υπόψη στατιστικά στοιχεία από πραγματικές εφαρμογές καθότι τέτοια στοιχεία είναι εμπιστευτικά και απόρρητα.

4.2 Σχεδιασμός Πειραμάτων

Αρχικά παρουσιάζονται οι παραδοχές αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των σκαφών που θα εξετασθούν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Ο παρακάτω πίνακας παρέχει τα στοιχεία κάθε κατηγορίας και τύπου σκάφους έτσι ώστε ο αναγνώστης να κατανοήσει καλύτερα τα μετέπειτα αποτελέσματα.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΚΑΦΟΥΣ	Α1		Α2	
ΤΥΠΟΣ ΣΚΑΦΟΥΣ	A1.1	A1.2	A2.1	A2.2
Καιρικές συνθήκες που επιχειρούν	Όλες	Όλες	<8Beaufort	<8Beaufort
Κόστος Αγοράς	15.000.000	12.000.000	2.600.000	2.300.000
Κόστος Εργοστασιακής συντήρησης	1.500.000	1.200.000	400.000	350.000
Κόστος Ενδιάμεσης συντήρησης	750000	600000	180000	140000
Κόστος Επισκευής	60.000	60.000	10.000	10.000
Αριθμός Πληρώματος	34	34	12	12
Ώρες λειτουργίας για εργοστασιακή συντήρηση	12.000	9.000	8.000	7.000
Ώρες λειτουργίας για ενδιάμεση συντήρηση	6.000	3.000	2.000	1.500
MTBF	1.200	1.000	400	300
Διάρκεια εργοστασιακής συντήρησης (μήνες)	3	3	2	2
Διάρκεια ενδιάμεσης συντήρησης (μήνες)	1	1	1	1
Διάρκεια επισκευής βλαβών (μήνες)	0,5	0,5	0,25	0,25
Καύσιμο	DIESEL	DIESEL	UNLEADED	UNLEADED
Καταναλώσεις (σε λίτρα / ώρα)	100	150	60	80

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά σκαφών

Όπως γίνεται εμφανές και από τον πίνακα, τα σκάφη που θα μελετηθούν διαφέρουν σε αρκετά σημεία. Πιο συγκεκριμένα τα σκάφη κατηγορίας Α1 είναι μεγαλύτερα και παντός καιρού έχοντας ως στελέχωση μεγαλύτερο αριθμό πληρώματος, είναι πιο ακριβά αλλά και πιο ανθεκτικά. Αντίθετα τα σκάφη κατηγορίας Α2 έχουν περιορισμούς ως προς τις καιρικές συνθήκες αλλά ταυτόχρονα είναι πιο οικονομικά, μικρότερα και στελεχώνονται από λιγότερο πλήρωμα. Επίσης ο τύπος 1 με τον τύπο 2, και για τις δύο κατηγορίες, διαφέρουν κυρίως ως προς τα κόστη, τις ώρες εργοστασιακής – ενδιάμεσης συντήρησης αλλά και ως προς τον μέσο

χρόνο μεταξύ βλαβών MTBF. Έτσι γενικά, οι τύποι A1.1 και A2.1 είναι πιο ακριβοί για την κατηγορία τους, αλλά ταυτόχρονα χρειάζονται συντήρηση σε μεγαλύτερους χρόνους ενώ έχουν και καλύτερη απόδοση όσο αναφορά το πόσο συχνά παρουσιάζουν βλάβες. Ταυτόχρονα τα σκάφη τύπου A1.2 και A2.2 είναι πιο οικονομικά ως προς την αγορά και συντήρηση αλλά οι καταναλώσεις τους σε καύσιμο είναι μεγαλύτερες.

Στη συνέχεια καθορίζονται τα σενάρια των πειραμάτων. Αν και αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, για την καλύτερη κατανόηση των σεναρίων, παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας:

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ	ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (> 8 Beaufort)	20 έως 60	20 – 40 – 60	Ποσοστό %
ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΠΕΡΙΠΟΛΙΩΝ	360 έως 2880	360 – 720 – 1440 - 2880	Συνολικές Ώρες/ Μήνα
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ	100 έως 200	100 – 150 – 200	Συνολικές Ώρες / Μήνα

Πίνακας 3. Σενάρια Προσομοίωσης

Τα σενάρια που θα εξετασθούν θα είναι όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των ανωτέρω τιμών. Σκοπός είναι να βρεθεί εκείνος ο συνδυασμός σκαφών που θα παρέχει σταθερή απόδοση για όλα τα σενάρια.

Με τις ανωτέρω παραδοχές σεναρίων και χαρακτηριστικών έγινε η εκτέλεση των προσομοιώσεων .

4.3 Εκτέλεση προσομοίωσης – Ανάλυση εξόδου

Για να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός σκαφών, εκτελέστηκε η προσομοίωση όλων των πιθανών συνδυασμών μεταξύ των σκαφών έτσι ώστε το σύνολο του στόλου να έχει 10 σκάφη, για όλα τα σενάρια.

Ανάμεσα στα αποτελέσματα που ελήφθησαν, αξίζει να ληφθούν υπόψη και να εξεταστούν περαιτέρω μόνο εκείνα που εξυπηρετούν τις παρακάτω συνθήκες-κριτήρια επιλογής για τα περισσότερα από τα 36 σενάρια της προσομοίωσης:

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

Τιμές

Συντελεστής απόδοσης (performance factor)	> 2,5
Διαθεσιμότητα (availability)	>70%
Συνολικό κόστος (total cost)	< 7.000.000.000 €

Πίνακας 4. Κριτήρια Επιλογής Συνδυασμών σκαφών

Από την διαδικασία των προσομοιώσεων διακρίθηκαν 11 συνδυασμοί σκαφών οι οποίοι στα περισσότερα σενάρια πληρούν τα κριτήρια επιλογής. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει αυτές τις πολιτικές.

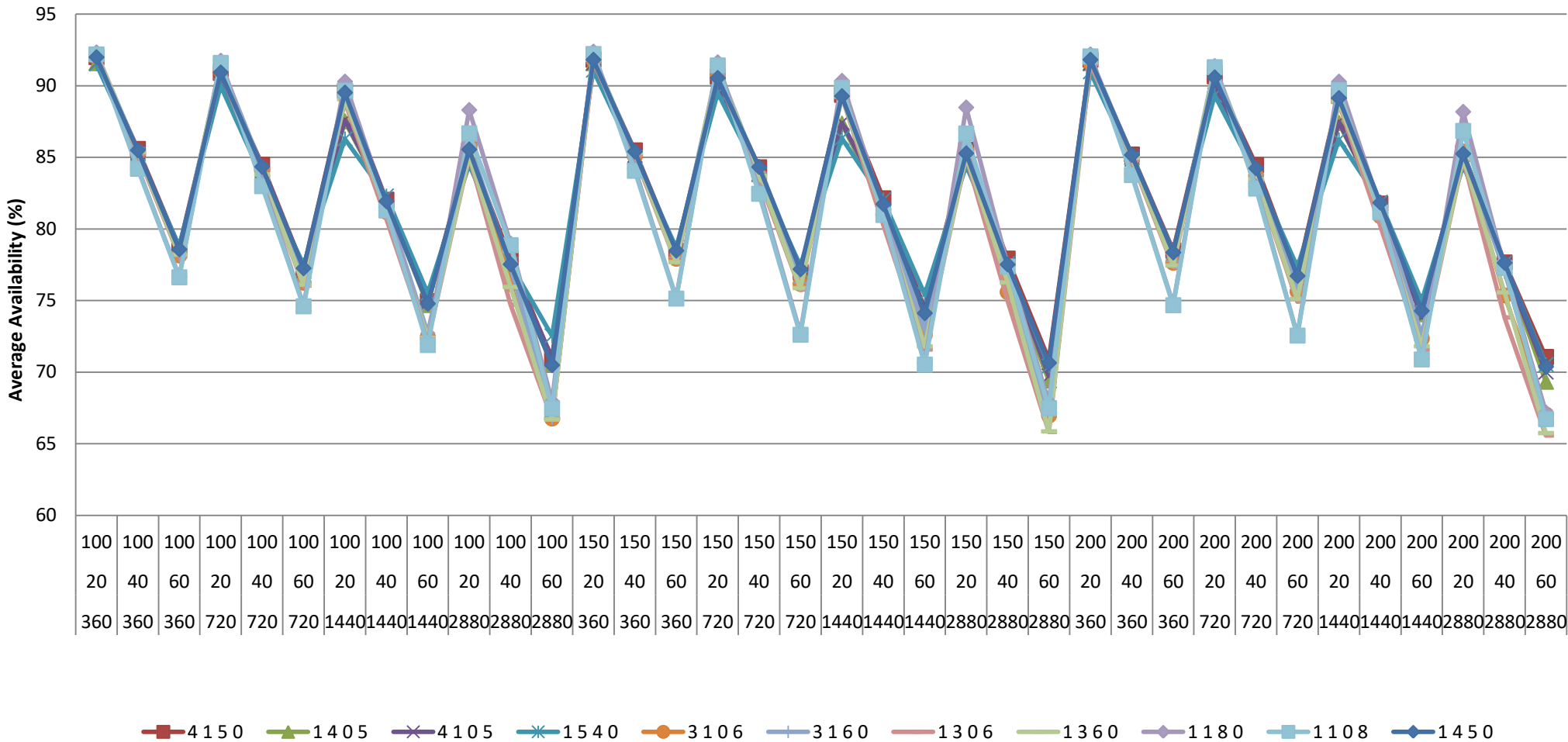
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ ΣΚΑΦΟΥΣ	Α1		Α2		Ποσοστό επίδοσης στα σενάρια
ΤΥΠΟΣ ΣΚΑΦΟΥΣ	A1.1	A1.2	A2.1	A2.2	
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 4150	4	1	5	0	100%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 1450	1	4	5	0	100%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 1405	1	4	0	5	94%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 1540	1	5	4	0	94%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 4105	4	1	0	5	94%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 1360	1	3	6	0	92%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 1306	1	3	0	6	92%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 3160	3	1	6	0	92%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 3106	3	1	0	6	92%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 1108	1	1	0	8	92%
ΠΟΛΙΤΙΚΗ 1180	1	1	8	0	92%

Πίνακας 5. Πολιτικές Σύνθεσης στόλου

Εν συνεχεία, με χρήση διαγραμμάτων, εξετάζεται ποιες από αυτές τις πολιτικές παρέχουν την καλύτερη διαθεσιμότητα, το χαμηλότερο κόστος και τον καλύτερο συντελεστή απόδοσης.

Τα αποτελέσματα των πολιτικών που παρουσιάσθηκαν στον πίνακα 5, ως προς την μέση διαθεσιμότητα για όλα τα πιθανά σενάρια, φαίνεται στο παρακάτω Διάγραμμα Μέσης Διαθεσιμότητας (Διάγραμμα Αποτελεσμάτων 1)

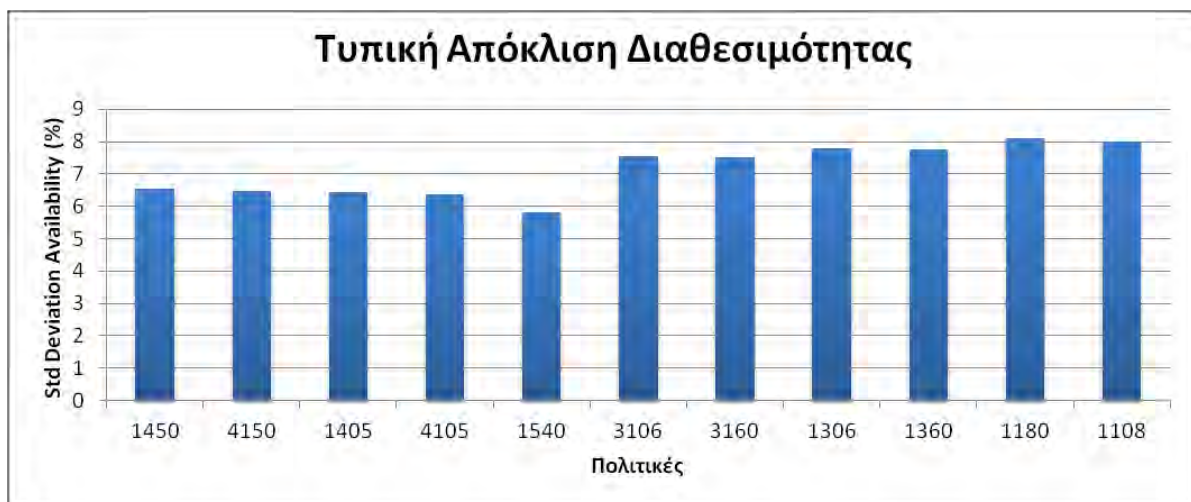
Διάγραμμα μέσης Διαθεσιμότητας



Σχήμα 12. Μέση Διαθεσιμότητα

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι όλες οι πολιτικές αποδίδουν καλύτερα όταν το ποσοστό των κακών καιρικών συνθηκών είναι 20%, ενώ όσο αυτό αυξάνεται, η διαθεσιμότητα μειώνεται. Επίσης, παρατηρούμε ότι κάποιες πολιτικές αποδίδουν καλύτερα σε ποσοστό κακών καιρικών συνθηκών 20% αλλά όταν το ποσοστό αυτό αυξηθεί σε 60%, τότε επηρεάζονται περισσότερο με αποτέλεσμα η διαθεσιμότητά τους να μειώνεται ακόμη και κάτω από το όριο του 70% που θέσαμε ως κριτήριο επιλογής.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η τυπική απόκλιση της μέσης διαθεσιμότητας ανά πολιτική.



Σχήμα 13. Τυπική Απόκλιση Μέσης Διαθεσιμότητας ανά πολιτική

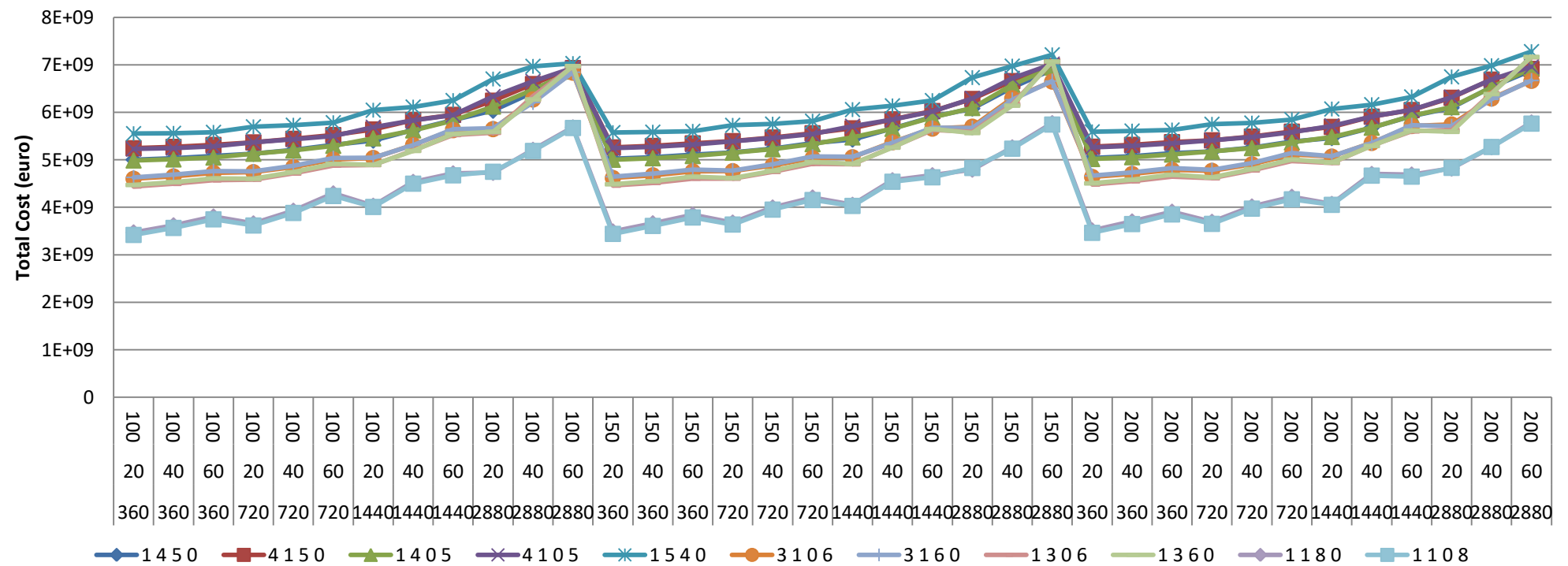
Όπως γίνεται ευκρινές, η “Πολιτική 1540” είναι εκείνη που φαίνεται να επηρεάζεται λιγότερο από τα ποσοστά των κακών καιρικών συνθηκών και να αποδίδει πιο σταθερά με την εναλλαγή των σεναρίων. Αντίθετα, η “Πολιτική 1180” είναι εκείνη με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, καθιστώντας την έτσι περισσότερο ευάλωτη στις κακές καιρικές συνθήκες.

Γενικά, παρατηρείται ότι οι πολιτικές που αποτελούνται από συνολικά 5 σκάφη κατηγορίας A1 και συνολικά 5 σκάφη κατηγορίας A2, έχουν την πιο σταθερή απόδοση μεταξύ των σεναρίων. Αντίθετα, όσο μειώνονται τα σκάφη κατηγορίας A1 και αντικαθιστούνται από κατηγορίας A2, τότε πιο ευάλωτες είναι οι πολιτικές στα διάφορα σενάρια.

Τέλος, όσον αφορά την διαθεσιμότητα, συνιστάται η “Πολιτική 1540” καθώς μπορεί να μην έχει την μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σε σενάρια με ποσοστό κακών καιρικών συνθηκών 20%, ωστόσο όταν οι κακές καιρικές συνθήκες αυξάνονται, φαίνεται να επηρεάζεται λιγότερο και επειδή πρόκειται για στόλο Ακτοφυλακής, είναι μείζονος σημασίας η απόδοση ακόμη και όταν οι καιρικές συνθήκες είναι πολύ άσχημες.

Στη συνέχεια εξετάζονται οι διαφορετικές πολιτικές ως προς το συνολικό κόστος. Γι' αυτόν τον λόγο παρατίθεται το Σχήμα 14, όπου συγκρίνουμε το συνολικό κόστος των πολιτικών ανά σενάριο.

Διάγραμμα Συνολικού Κόστους



Σχήμα 14. Διάγραμμα Συνολικού Κόστους ανά Πολιτική

Στο διάγραμμα Συνολικού Κόστους ανά Πολιτική παρατηρείτε μια αυξητική τάση κατά την αύξηση των ωρών περιπολίας, των ωρών περιστατικών καθώς και των κακών καιρικών συνθηκών. Εύλογο αποτέλεσμα, αφού αυξάνοντας τις ώρες λειτουργίας ανά σκάφος, αυξάνονται οι καταναλώσεις του σε καύσιμα ενώ ταυτόχρονα απαιτείται συντήρηση σε συντομότερο χρονικό διάστημα. Το ίδιο συμβαίνει και με τις κακές καιρικές συνθήκες αφού τα σκάφη κατηγορίας A1 χρεώνονται περισσότερες ώρες πλεύσης κάτι που συνεπάγεται πιο συχνή συντήρηση, η οποία κοστίζει περισσότερο από αυτή της κατηγορίας A2.

Όσον αφορά τις πολιτικές που εξετάζονται, αυτές με τα λιγότερα σκάφη κατηγορίας A1 αποδίδουν αρκετά καλύτερα. Συγκεκριμένα οι “Πολιτική 1180” και “Πολιτική 1108” αποδίδουν φανερά καλύτερα καθ’ όλα τα πιθανά σενάρια. Αντίθετα, η “Πολιτική 1540” είναι αυτή με το μεγαλύτερο συνολικό κόστος.

Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση της τυπικής απόκλισης του συνολικού κόστους μεταξύ των σεναρίων, έτσι ώστε να βρεθεί ποια είναι η πιο ευάλωτη πολιτική αναφορικά με το κόστος.



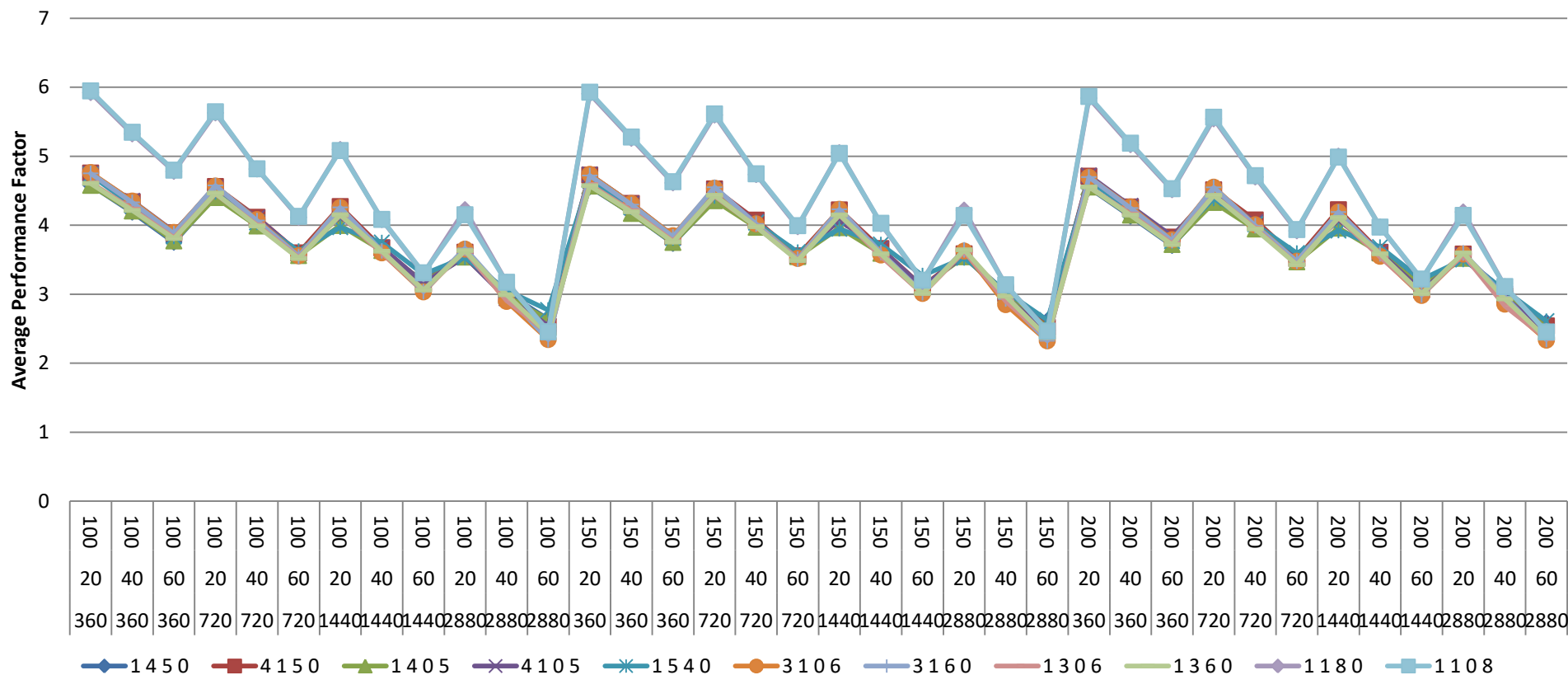
Σχήμα 15. Τυπική Απόκλιση Συνολικού Κόστους κάθε Πολιτικής σε σχέση με τα σενάρια

Από το Σχήμα 15 παρατηρείται ότι οι πολιτικές που είναι πιο ευάλωτες και έχουν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις κόστους μεταξύ των σεναρίων είναι οι “Πολιτική 1360” και η “Πολιτική 1306”, ενώ, οι “Πολιτική 4150” και “Πολιτική 1540” είναι πιο σταθερές μεταξύ των σεναρίων.

Ωστόσο, εάν η εκάστοτε ηγεσία κρίνει ότι ενδιαφέρεται για το χαμηλότερο δυνατόν κόστος, τότε οι επιλογές είναι δύο, η “Πολιτική 1180” και η “Πολιτική 1108”, καθώς και οι δύο αυτές πολιτικές αποφέρουν σταθερά το χαμηλότερο κόστος, έχοντας όμως υπόψη ότι το συνολικό

κόστος επηρεάζεται σημαντικά από τον αριθμό των ωρών περιπολίας, των ωρών περιστατικών αλλά και τις κακές καιρικές συνθήκες.

Διάγραμμα μέσου Συντελεστή Απόδοσης



Σχήμα 16. Μέσος Συντελεστής Απόδοσης Πολιτικών για κάθε σενάριο

Καθότι ο Συντελεστής Απόδοσης ορίζεται ως η διαθεσιμότητα δια το κόστος, επόμενο ήταν σενάρια με μικρότερο ποσοστό κακών καιρικών συνθηκών, λιγότερες περιπολίες και λιγότερα περιστατικά, να αποδίδουν μεγαλύτερους συντελεστές.

Συγκεκριμένα, ο συντελεστής απόδοσης των πολιτικών “Πολιτική 1180” και “Πολιτική 1108” είναι φανερά υψηλότερος στα περισσότερα σενάρια. Αυτό σημαίνει ότι ο συνδυασμός διαθεσιμότητας και κόστους των συγκεκριμένων πολιτικών είναι πιο αποδοτικός στις περισσότερες περιπτώσεις. Οι συντελεστές των υπόλοιπων πολιτικών μοιάζουν αρκετά στη συμπεριφορά. Για την περαιτέρω όμως εξέταση, παρακάτω παρατίθεται το γράφημα διακύμανσης του συντελεστή απόδοσης.



Σχήμα 17. Τυπική Απόκλιση Συντελεστή Απόδοσης Πολιτικών σε σχέση με τα σενάρια

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρείτε ότι οι πολιτικές “Πολιτική 1180” και “Πολιτική 1108” είναι οι περισσότερο ευμετάβλητες στα διάφορα σενάρια με διακύμανση έως και ενός βαθμού στον συντελεστή. Αντίθετα, και πάλι οι πιο σταθερές πολιτικές είναι οι “Πολιτική 1450”, “Πολιτική 1405” και “Πολιτική 1540”, με διακύμανση στον συντελεστή απόδοσης περί 0,5 βαθμούς.

Εκ νέου διαπιστώνεται ότι και στον συντελεστή απόδοσης παρατηρείται ότι μεταξύ των διακεκριμένων πολιτικών, αυτές που έχουν ισάριθμο στόλο, δηλαδή μισά σκάφη κατηγορίας A1 και μισά σκάφη κατηγορίας A2 είναι πιο σταθερές στις διαφορετικές συνθήκες των σεναρίων.

Συμπερασματικά, οι πολιτικές “Πολιτική 1180” και “Πολιτική 1108” είναι πιο αποδοτικές στα περισσότερα σενάρια, ωστόσο επηρεάζονται περισσότερο από τις διάφορες συνθήκες καιρού, περιπολιών και περιστατικών, αποδίδοντας λιγότερο όταν οι συνθήκες είναι πιο πιεστικές και δύσκολες. Αντίθετα, οι πολιτικές με ισάριθμα σκάφη κατηγορίας A1 και A2 είναι μεν λιγότερο αποδοτικές, αλλά ταυτόχρονα πιο σταθερές στις διάφορα σενάρια ζήτησης.

Συνοψίζοντας, όσον αφορά την διαθεσιμότητα, η καλύτερη πολιτική είναι η “Πολιτική 1540” καθώς είχε σταθερά καλή διαθεσιμότητα σε όλα τα σενάρια. Όσον αφορά το κόστος, καλύτερες είναι οι πολιτικές “Πολιτική 1180” και “Πολιτική 1108” καθώς αποδίδουν με χαμηλό κόστος σε όλα τα σενάρια αλλά ταυτόχρονα επηρεάζονται περισσότερο από τις εκάστοτε συνθήκες και οι αυξομειώσεις του κόστους είναι μεγαλύτερες. Τέλος, όσον αφορά την συνολική απόδοση, δηλαδή τον συνδυασμό κόστους-διαθεσιμότητας, οι πολιτικές που φαίνεται να έχουν σταθερή απόδοση είναι αυτές με ισάριθμο αριθμό σκαφών κατηγορίας A1 και κατηγορίας A2. Ωστόσο, περισσότερο αποδοτικές στα περισσότερα σενάρια, ήταν οι “Πολιτική 1180” και “Πολιτική 1108” οι οποίες εμφάνισαν υψηλότερο συντελεστή απόδοσης.

Για την τελική επιλογή του καλύτερου συνδυασμού σκαφών θα εξεταστούν περεταίρω οι πολιτικές που ξεχώρισαν από την προηγούμενη διαδικασία. Δηλαδή οι “Πολιτική 1180”, “Πολιτική 1108”, “Πολιτική 4150” και η “Πολιτική 1450”. Συγκεκριμένα θα εξετασθεί το κατά πόσο είναι ευάλωτες σε ενδεχόμενες διακυμάνσεις του αρχικού κόστους, του κόστους συντήρησης αλλά και της πολιτικής συντήρησης. Η εξέταση θα γίνει στο παρακάτω μέσο σενάριο :

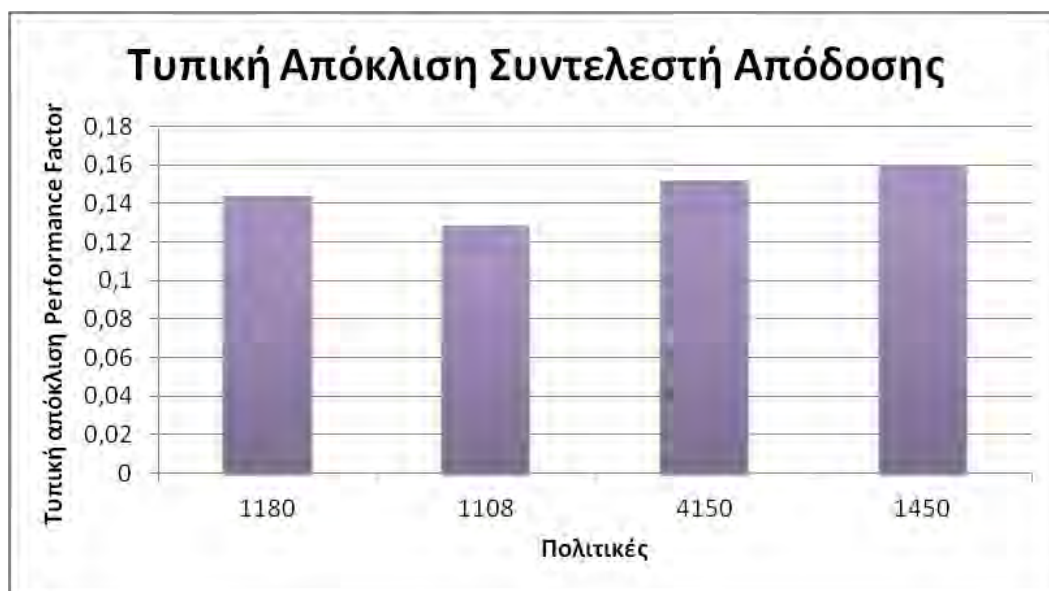
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (> 8 Beaufort)	40	Ποσοστό %
ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΠΕΡΙΠΟΛΙΩΝ	1440	Συνολικές Ωρες/ Μήνα
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ	150	Συνολικές Ωρες / Μήνα

Πίνακας 6. Μέσο σενάριο εξέτασης διακύμανσης τιμών

Παρακάτω παρατίθεται η τυπική απόκλιση του συνολικού κόστους και του συντελεστή



Σχήμα 18. Τυπική Απόκλιση Συνολικού Κόστους με αυξομείωση στα αρχικά κόστη κατά 10% απόδοσης των πολιτικών που επιλέχθηκαν όταν τα κόστη αυξομειώνονται κατά 10%.



Σχήμα 19. Τυπική Απόκλιση Συντελεστή Απόδοσης με αυξομείωση στα αρχικά κόστη κατά 10%

Όπως διαπιστώνεται από τα δύο γραφήματα, οι πολιτικές 1180 και 1108 είναι οι λιγότερο ευάλωτες σε πιθανή αυξομείωση στα αρχικά κόστη. Αντίθετα, οι πολιτικές 4105 και 1450 είναι πιο ευαίσθητες στην αύξηση και μείωση των τιμών αγοράς, συντήρησης και επισκευής.

Στη συνέχεια εξετάζεται η αυξομείωση των ωρών συντήρησης. Συγκεκριμένα σε αύξηση των ωρών για την εργοστασιακή και προγραμματισμένη συντήρηση κατά 10% και 20%, η τυπική απόκλιση για τον συντελεστή απόδοσης που λαμβάνεται φαίνεται στο κάτωθι γράφημα.



Σχήμα 20. Τυπική Απόκλιση Συντελεστή Απόδοσης με αύξηση των ωρών για την εργοστασιακή και προγραμματισμένη συντήρηση κατά 10% και 20%

Όπως εύκολα διαπιστώνεται, όλες οι πολιτικές έχουν πολύ μικρή τυπική απόκλιση του συντελεστή απόδοσης, σε σχέση με την αύξηση των ωρών για την προγραμματισμένη και εργοστασιακή συντήρηση κατά 10% και 20%. Από το σχήμα συμπεραίνεται ότι η πολιτική 1180 έχει μικρότερη τυπική απόκλιση, ωστόσο η διαφορά με την τιμή τυπικής απόκλισης του συντελεστή της πολιτικής 1450, που στο γράφημα φαίνεται η μεγαλύτερη, είναι απειροελάχιστη της τάξεως του 0,015. Άρα οι πολιτικές που έχουν επιλεγεί δεν επηρεάζονται πολύ σε μία αλλαγή πολιτικής συντήρησης. Αυτό είναι ευχάριστο διότι δίνει το περιθώριο στον διαχειριστή του στόλου να παραμελεί για μικρό χρονικό διάστημα τις συντηρήσεις χωρίς να έχει μεγάλες απώλειες στην διαθεσιμότητα και χρέωση με παραπάνω κόστος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη, όπως ειπώθηκε και στο κεφάλαιο 1, σκοπό έχει τη δημιουργία ενός εργαλείου μοντελοποίησης ικανό να παράγει αποτελέσματα που θα βοηθήσουν στην λήψη αποφάσεων. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων που εξετάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο βοηθούν στην κατανόηση της λειτουργίας του μοντέλου αλλά ταυτόχρονα επαληθεύουν τις αρχικές παραδοχές. Ο τρόπος ανάλυσης των αποτελεσμάτων ποικίλει, άλλωστε είναι στην κρίση του εκάστοτε αναλυτή. Τα αποτελέσματα που παράγει το μοντέλο είναι αρκετά και βοηθούν στην οποιαδήποτε ανάλυση.

Μέσα από την εξέταση όλων των πιθανών πολιτικών μεταξύ όλων των συνδυασμών για τους τέσσερις τύπους σκαφών με σύνολο τα δέκα σκάφη, ανιχνεύτηκαν, με τις μεθόδους που αναλύθηκαν παραπάνω οι πιο αποδοτικές πολιτικές. Γενικά, αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι οι πολιτικές με ισάριθμο αριθμό σκαφών κατηγοριών A1 και A2 είναι πιο σταθερές στα διάφορα σενάρια καιρικών συνθηκών, ωρών περιπολίας και έκτακτων περιστατικών. Ωστόσο, πολιτικές που έχουν σύνθεση 20% σκάφη κατηγορίας A1 και 80% σκάφη κατηγορίας A2 φαίνεται να έχουν σταθερά χαμηλότερα κόστη.

Ήρθε η ώρα λοιπόν να απαντηθεί το ερώτημα που τέθηκε στην αρχή της εργασίας:

Ποια είναι η καλύτερη σύνθεση σκαφών ακτοφυλακής ούτως ώστε να παρέχεται η μέγιστη δυνατή επιχειρησιακή ετοιμότητα με το χαμηλότερο δυνατόν κόστος;

Η απάντηση στο ερώτημα είναι οι πολιτικές 1180, 1108, 1450 και 4150, όπως αυτές περιγράφηκαν και ορίστηκαν στο προηγούμενο ΚΕΦΑΛΑΙΟ (πίνακας 5) . Και οι τέσσερις αυτοί συνδυασμοί σκαφών εξυπηρετούν τις τιθέμενες ανάγκες. Ωστόσο, οι πολιτικές 1450 και 4150 παρέχουν σταθερότητα και μεγαλύτερη διαθεσιμότητα όταν οι καιρικές συνθήκες είναι δυσμενέστερες. Το πλεονέκτημα αυτών των δύο πολιτικών είναι σημαντικό για την Ακτοφυλακή καθώς εξ' ορισμού πρέπει να έχει αυξημένη διαθεσιμότητα έτσι ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες της. Ωστόσο, εάν ο διαχειριστής επιλέξει την πολιτική που θα του παρέχει το χαμηλότερο κόστος, τότε οι πολιτικές 1180 και 1108 είναι εξίσου καλές επιλογές. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν και αναλύθηκαν στην ενότητα 4.3, οι δύο αυτές πολιτικές (1180 και 1108) αναδείχθηκαν ως οι λιγότερο κοστοβόρες για όλα τα σενάρια, παρέχοντας παράλληλα καλή απόδοση στα περισσότερα από αυτά. Ωστόσο η

διαθεσιμότητα που παρείχαν ήταν χαμηλότερη από τις άλλες δύο πολιτικές αλλά όχι με τόσο μεγάλη διαφορά για να τις καταστήσει μη αξιόπιστες. Επίσης, οι πολιτικές 1180 και 1108 αναδείχθηκαν πιο σταθερές, όσον αφορά στην απόδοσή τους, στην αλλαγή των τιμών της αγοράς αλλά και στην αλλαγή του χρόνου της ενδιάμεσης και εργοστασιακής συντήρησης.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε εξυπηρετεί τους σκοπούς ενός εικονικού στόλου σκαφών που η Ακτοφυλακή προτίθεται να αγοράσει, και τα αποτελέσματα που παράγει είναι διαμορφωμένα σύμφωνα με τις παραδοχές που αναπτύχθηκαν. Πρέπει να τονισθεί στο σημείο αυτό ότι το εργαλείο που αναπτύχθηκε σε καμία περίπτωση δεν οδηγεί στην βελτιστοποίηση αλλά είναι ένα μοντέλο που βοηθά στη λήψη αποφάσεων. Ουσιαστικά, είναι ένα μοντέλο που αφήνει τον εκάστοτε χρήστη να προσομοιάσει άφοβα πολιτικές και να δει εύκολα και γρήγορα πού αυτές μπορεί να οδηγήσουν κατά την πραγματική εφαρμογή τους.

Επίσης, το μοντέλο αυτό μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες εξέτασης ως προς τον αριθμό των σκαφών, με μόνο περιορισμό στον αριθμό των διαφορετικού τύπου σκαφών, ο οποίος δεν μπορεί να ξεπερνά τα τέσσερα. Αξιοσημείωτο επίσης είναι να αναφερθεί ότι το επίπεδο της ανάλυσης του μοντέλου που αναπτύχθηκε ποικίλει και εξαρτάται από τους στόχους μοντελοποίησης καθώς και από το επίπεδο λήψης αποφάσεων του διαχειριστή που το εξετάζει για να αποφασίσει το πόσο πολύ θέλει να εμπλακεί με την ανάλυση των στατιστικών παραμέτρων που το διέπουν. Σίγουρα οι δυνατότητες είναι πολύ περισσότερες από αυτές που αναπτύχθηκαν παραπάνω, όμως ξέφευγαν από τα πλαίσια της παρούσας για να εξεταστούν.

Τέλος, ένα μοντέλο Συστημικής Δυναμικής είναι η απαρχή ενός καλύτερου από αυτό. Στο παρόν μοντέλο έγινε μόνο η αρχή για την προσομοίωση ενός στόλου σκαφών και με βάση αυτό μπορεί να αναπτυχθεί ένα πληρέστερο μοντέλο που να ικανοποιεί μεγαλύτερες απαιτήσεις. Μπορούν να διαιρεθούν εκτενέστερα τα επίπεδα συντήρησης, να προστεθούν κατηγορίες και τύποι σκαφών, να ληφθούν υπόψη εξωτερικοί παράγοντες όπως η κατάρτιση του προσωπικού καθώς και να εξεταστούν παράμετροι όπως η επιχειρησιακή ταχύτητα των σκαφών για την αντιμετώπιση περιστατικών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adamides, E. D., Stamboulis, Y. A., & Varelis, A. G. (2004). Model-based assessment of military aircraft engine maintenance systems. *Journal of the Operational Research Society*, 55(9), 957-967.
- Andersson C., Karlsson L. (2001), A system dynamics simulation study of a software development process, Lund Institute of Technology
- Astor T., Morales M., Kieffer D., Repenning N. (2016), What problem are you trying to solve: An Introduction to Structured Problem Solving, MIT Sloan School Working Paper 5175-16
- Banks J., Carson II J.S., Nelson B.L., Nicol D.M. (2005), Discrete-event System Simulation fourth edition, Pearson
- Ben-Daya M., Duffuaa S.O., Raouf A., Knesevic J., Ait-Kadi D. (2009), Handbook of maintenance management and engineering, Springer
- Cole, R.J. and Sterner, E., (2000), Reconciling theory and practice of life-cycle costing, Building Research & Information, Vol. 28 No. 5/6, 2000, pp. 368-375
- Forrester, J. W. 1971, *World dynamics*, Massachusetts: Wright-Allen Press, Inc
- Forrester, J. W. (1995), The beginning of system dynamics. *Mc Kinsey Quarterly*
- Frost J.E. (1989), Operations and Maintenance Costs for New Major U.S. Coast Guard Platforms: Projected versus Actual Costs, Naval Postgraduate school, Monterey, California
- Gary M.S., Kunc M., Morecroft J.D.W., Rockart S.F. (2008), System dynamics and strategy, System Dynamics Review Vol.24 No. 4
- Isermann R. & Münchhof M. (2011), Identification of Dynamic Systems, Springer
- Jacoby Chad (2015), A systems approach to U.S. Coast Guard cutter maintenance, Massachusetts Institute of Technology
- Jones J. (2006), Integrated Logistics Support Handbook, McGraw-Hill Professional
- Khoshnevis B. (1994), Discrete Systems Simulation, McGraw-Hill, Inc.

- Karadimas G. (2010), Reliability analysis/ mapping for marine vessels: results and conclusions, National Technical University of Athens, School of naval architecture & marine engineering, laboratory for marine transport
- Langdon D. (2007), Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology Literature Review, Davis Langdon Management Consulting
- Law A.M. (2007), Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill
- Lebel J.D. (1981), System Dynamics, Dynamica Vol. 7, Part 1
- .Lundwig von Bertalanffy (1950), An outline of general system Theory, The British Journal for the Philosophy of Science Vol. 1, No. 2
- Maintenance Policy for United States Navy Ships (2010), Department of the Navy, Office of the Chief of Naval Operations, Navy Pentagon
- Meadows D., Richardson J., Bruckmann G., Wiley, Chichester (1982), Groping in the dark: the first decade of global modeling, Strategic Management Journal Vol.4, p.384-385
- Morecroft J.D.W. (2015), Strategic Modeling and business dynamics: a feedback systems approach, second edition, John Wiley and Sons Ltd
- Pidd M. (2004), Computer Simulation in Management Science, John Wiley and Sons Ltd
- Radzicki M.J, Taylor R.A. (1997), Introduction to system dynamics: a systems approach to Understanding complex policy issues, U.S. Department of Energy's (ebook: <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/index.html>, τελευταία είσοδος: 31/06/2017)
- Sanchez R. (2006), Integrating Design into Strategic Management Processes, Design Management Review
- Shepherd S.P. (2014), A review of system dynamics models applied in transportation, Transportmetrica B:Transport Dynamics, 2 (2), p. 83-105
- Sterman D.J. (2000), Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, *McGraw-Hill Higher Education*

Wolstenholme E.F. (1983), System dynamics: a system methodology or a system modeling technique, DYNAMICA Vol 93, Part 11, p.84-90

Καρανικόλας Γ, Κρικέλλης Ζ.Α. (2010), Οι έννοιες της συντήρησης, της αξιοπιστίας και της εφοδιαστικής υποστήριξης. Εφαρμογή στα αεροσκάφη της Πολεμικής Αεροπορίας, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς και Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Οδηγία 94/25/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16^{ης} Ιουνίου 1994, για την προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών οι οποίες αφορούν τα σκάφη αναψυχής, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Αριθ. L 164/15

Πάνας, Α. (2005), Διαχείριση των Διαδικασιών στα Τεχνικά Έργα, *Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.*

Διακήρυξη Επιστημονικών Αρχών της Ελληνικής Εταιρείας Συστημικών Μελετών(ΕΕΣΜ): <http://www.hsss.gr/diakiriksi.html> (τελευταία είσοδος: 31/06/2017)

Learn to read causal loop diagrams: <https://systemsandus.com/2012/08/15/learn-to-read-cllds/> (τελευταία είσοδος: 31/06/2017)

Επίσημη σελίδα Λιμενικού Σώματος – Ελληνικής Ακτοφυλακής: www.hcg.gr (τελευταία είσοδος: 31/06/2017)

Comparison of system dynamics software, Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_system_dynamics_software (τελευταία είσοδος: 31/06/2017)

Powersim Software learning: <https://www.youtube.com/channel/UCETH9pUr3ZTL6Vgmft5KfA> (τελευταία είσοδος: 31/06/2017)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Name	Dimensions	Definition	Unit
Consumptions cost per month	1..2;1..2	{{'assigned hours'[1;1]*'Consumptions per boat'[1;1]*'Diesel cost';'assigned hours'[1;2]*'Consumptions per boat'[1;2]*'Diesel cost';{'assigned hours'[2;1]*'Consumptions per boat'[2;1]*'unliaded cost';'assigned hours'[2;2]*'Consumptions per boat'[2;2]*'unliaded cost'}}	euro/mo
MTBF	1..2;1..2	{{1000;1000};{400;300}}	
To maintenance hr	1..2;1..2	{{6000;3000};{2000;1500}}	
Avaliability	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 IF ('Initial number of boats'[i;j]> 0<<Boats>>; IF(i=1; 'Boats available'[i;j]*100/'Initial number of boats'[i;j]; ('Boats available'[i;j]*(100% - 'Bad weather'))*100/'Initial number of boats'[i;j]))))	
To depot hr	1..2;1..2	{{12000;9000};{8000;7000}}	
assigned hours	1..2;1..2	FOR(i=1..2 ; j=1..2 IF ('Boats available'[i;j]>0<<Boats>> AND i=1 ; (('Patrol hours'+ 'may day')*'Bad weather')*1<<Boat>>/('Boats available'[1;1]+'Boats available'[1;2]); IF ('Boats available'[i;j]>0<<Boats>> AND i=2 ; (('Patrol hours'+ 'may day')*(100%-'Bad weather')*1<<Boat>>/('Boats available'[2;1]+'Boats available'[2;2])))	hr/mo
may day		50	hr/mo
Patrol hours		720	hr/mo
Initial number of boats	1..2; 1..2	{{0;4};{0;6}}<<Boat>>	Boat
Boats available	1..2;1..2	'Initial number of boats'	Boat
Initial cost per boat	1..2;1..2	{{15000000;12000000};{2600000;2300000}}<<euro/Boat>>	euro/Boat
Std Deviation Avg Availability		RUNSTDEVP('Map sum availability')	
Std Deviation Avg Performance Factor		RUNSTDEVP('PERFORMANCE FACTOR')	mo ⁻¹
Total Cost per month		NPV(ARRSUM('Cost per month per boat category');'Interest rate'/12<<mo>>)	euro/mo

Average Availability		RUNAVERAGE('Map sum availability')	
Average Performance Factor		RUNAVERAGE('PERFORMANCE FACTOR')	mo ⁻¹
Total Cost		INIT(ARRSUM('Initial cost per boat'*'Initial number of boats'))	euro
Map sum availability		ARRSUM(Avaliability)/ARRSUM(divisor)	
sum availability		SUM ('map availability'[1];'map availability'[2];'map availability'[3];'map availability'[4])	
Average Cost per month		RUNAVERAGE(ARRSUM('Cost per month per boat category'))	euro/mo
Capital cost per month	1..2; 1..2	'Initial cost per boat'*'Initial number of boats'*'Interest rate'/12<<mo>>	euro/mo
Interest rate		5%	%
divisor	1..2; 1..2	FOR (i=1..2; j=1..2 IF ('PERFORMANCE FACTOR per boat category'[i;j]>0; 1))	
PERFORMANCE FACTOR		ARRSUM('PERFORMANCE FACTOR per boat category')/ARRSUM(divisor)	mo ⁻¹
Decision value	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 ; j=1..2 IF ('Send to Depot'[i;j]>0; 1; IF ('Send to Maintenance'[i;j]>0; 2; IF ('Send to Repair'[i;j]>0; 3))))	
map availability	1..4	{Avaliability[1;1];Avaliability[1;2];Avaliability[2;1];Avaliability[2;2]}	
PERFORMANCE FACTOR per boat category	1..2; 1..2	FOR (i=1..2; j=1..2 IF ('Cost per month per boat category'[i;j]>0<<euro/mo>>; (Avaliability[i;j]/'Cost per month per boat category'[i;j])*10000<<euro/mo ² >>))	mo ⁻¹
Cost per month per boat category	1..2; 1..2	'Consumptions cost per month'+ 'Depot cost per month'+ 'HR Cost per month'+ 'Maintenance cost per month'+ 'Repair cost per month'+ 'Capital cost per month'	euro/mo
unliaded cost		1,2 <<euro/lt>>	euro/lt
Diesel cost		1,0 <<euro/lt>>	euro/lt
Consumptions per boat	1..2;1..2	{{100;150};{60;80}}<<lt/hr>>	lt/hr
Repair cost per month	1..2; 1..2	'Repair Cost'*repaired	euro/mo

Repair Cost	1..2;1..2	{{60000;60000};{10000;10000}}<<euro/Boat>>	euro/Boat
Maintenance cost per month	1..2; 1..2	'Maintenance cost'*maintenaced	euro/mo
Maintenance cost	1..2;1..2	{{750000;600000};{180000;140000}}<<euro/Boat>>	euro/Boat
Depot cost per month	1..2; 1..2	'Depot cost'*return	euro/mo
Depot cost	1..2;1..2	{{1500000;1200000};{400000;350000}}<<euro/Boat>>	euro/Boat
HR Cost per month	1..2; 1..2	'Initial number of boats'*'HR per Boat'*'Cost per person per month'	euro
Cost per person per month		2000<<euro/person>>	euro/pers on
HR per Boat	1..2;1..2	{{34;34};{12;12}}<<persons/Boat>>	person/Boat
Map repairs	1..4	{'Boats to Repair'[1;1];'Boats to Repair'[1;2];'Boats to Repair'[2;1];'Boats to Repair'[2;2]}	Boat
Map maintenace	1..4	{'Boats to Maintenance'[1;1];'Boats to Maintenance'[1;2];'Boats to Maintenance'[2;1];'Boats to Maintenance'[2;2]}	Boat
Months to maintenance	1..2; 1..2	{{1;1};{1;1}}<<mo>>	mo
Months to repair	1..2; 1..2	{{0,5;0,5};{0,25;0,25}}<<mo>>	mo
repaired	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 DELAYPPL('to repair'[i;j];'Months to repair'[i;j])))	Boat/mo
Boats to Repair	1..2; 1..2	INIT({{0;0};{0;0}}<<Boat>>)	Boat
to repair	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 IF ('Boats available'[i;j]>0<<Boats>> AND 'Decision value'[i;j]=3 ; 1<<Boat/mo>>;0<<Boat/mo>>)))	Boat/mo

maintenaced	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 DELAYPPL('to maintenance'[i;j],'Months to maintenance'[i;j])))	Boat/mo
Boats to Maintenance	1..2; 1..2	INIT({{0;0};{0;0}}<<Boat>>)	Boat
to maintenance	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 IF ('Boats available'[i;j]> 0<<Boats>> AND 'Decision value'[i;j]=2 ; 1<<Boat/mo>>;0<<Boat/mo>>)))	Boat/mo
Map depot	1..4	{'Boats to depot'[1;1];'Boats to depot'[1;2];'Boats to depot'[2;1];'Boats to depot'[2;2]}	Boat
show depots	1..4	{'Depot counter'[1;1];'Depot counter'[1;2];'Depot counter'[2;1];'Depot counter'[2;2]}	hr
Months to depot	1..2; 1..2	{{3;3};{2;2}}<<mo>>	mo
Send to Repair	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 IF ('Failure counter'[i;j]>=MTBF[i;j]*1<<hr>> ; 'Failure counter'[i;j])))	hr
Failure counter	1..2; 1..2	INIT({{0;0};{0;0}}<<hr>>)	hr
Send to Maintenance	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 IF ('Maintenance Counter'[i;j]>='To maintenace hr'[i;j]*1<<hr>>; 'Maintenance Counter'[i;j])))	hr
Maintenance Counter	1..2; 1..2	INIT({{0;0};{0;0}}<<hr>>)	hr
Send to Depot	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 IF ('Depot counter'[i;j]>='To depot hr'[i;j]*1<<hr>>; 'Depot counter'[i;j])))	hr
Depot counter	1..2;1..2	INIT({{0;0};{0;0}}<<hr>>)	hr
Bad weather		40%	%
return	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 DELAYPPL('to depot'[i;j],'Months to depot'[i;j])))	Boat/mo
Boats to depot	1..2; 1..2	INIT({{0;0};{0;0}}<<Boat>>)	Boat

to depot	1..2; 1..2	FOR (i=1..2 FOR (j=1..2 IF ('Boats available'[i;j]> 0<<Boats>> AND 'Decision value'[i;j]=1 ; 1<<Boat/mo>>;0<<Boat/mo>>)))	Boat/mo
----------	------------	--	---------